

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



“ESTUDIO COMPARATIVO A NIVEL RADIO ENTRE LOS SISTEMAS
MICROONDAS SDH Y PACKET MICROWAVE COMO ALTERNATIVAS
PARA EL TRAMO DORSAL TRUJILLO-RAGACHE DE LA RED DEL
OPERADOR CLARO – PERÚ S.A.C.”

TESIS PARA OBTENER EL
TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: TELECOMUNICACIONES

AUTORES :

Br. Berly Silva Vargas.

Br. Yordan Evert Noriega Pretel.

ASESOR :

Ing. Eduardo Elmer Cerna Sánchez

Trujillo - Perú

2015

**“ESTUDIO COMPARATIVO A NIVEL RADIO ENTRE LOS
SISTEMAS MICROONDAS SDH Y PACKET MICROWAVE
COMO ALTERNATIVAS PARA EL TRAMO DORSAL TRUJILLO-
RAGACHE DE LA RED DEL OPERADOR CLARO – PERÚ S.A.C.”**

Elaborado Por:

Br. Berly Silva Vargas.

Br. Yordan Evert Noriega Pretel.

Aprobado por :

Ing. FILIBERTO AZABACHE FERNÁNDEZ
PRESIDENTE
CIP N° 97916

Ing. OVIDIO H. RAMOS ROJAS
SECRETARIO
CIP N° 92622

Ing. LUIS ALVARADO RODRÍGUEZ
VOCAL
CIP N° 149200

Ing. EDUARDO CERNA SÁNCHEZ
ASESOR
CIP N° 80252

PRESENTACION

Señores miembros del Jurado:

De conformidad y en cumplimiento de los requisitos estipulados en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego y el Reglamento Interno de la Carrera Profesional de Ingeniería Electrónica para obtener el Título Profesional de Ingeniero Electrónico, ponemos a vuestra disposición el presente Trabajo de Tesis titulado: **“ESTUDIO COMPARATIVO A NIVEL RADIO ENTRE LOS SISTEMAS MICROONDAS SDH Y PACKET MICROWAVE COMO ALTERNATIVAS PARA EL TRAMO DORSAL TRUJILLO-RAGACHE DE LA RED DEL OPERADOR CLARO – PERÚ S.A.C.”.**

Este trabajo, es el resultado de la aplicación de los conocimientos adquiridos en la formación profesional en la Universidad, excusándonos anticipadamente de los posibles errores involuntarios cometidos en su desarrollo.

Trujillo, Septiembre del 2015

Br. Berly Silva Vargas.

Br. Yordan Evert Noriega Pretel.

DEDICATORIAS

A Dios, que me brinda sabiduría, amor y paciencia.

A mis padres, por brindarme su apoyo, fortaleza incondicional y ánimos para salir adelante.

Al Ing. Eduardo Cerna, nuestro asesor, por brindarme de su experiencia para el desarrollo de mi Tesis.

Berly

A Dios, que me brinda sabiduría, amor y paciencia.

A mi abuelita, a mis padres, por brindarme su apoyo, fortaleza incondicional y ánimos para salir adelante.

A mi asesor, el Ing. Eduardo Cerna, por brindarme de su experiencia para el desarrollo de mi Tesis.

Yordan Evert

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por habernos dado fuerzas y ganas de seguir superarnos profesionalmente para establecer objetivos, realizar metas y cumplir responsabilidades.

A la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo, por brindarnos los conocimientos necesarios para el desarrollo del Proyecto de Tesis y abrirnos el camino hacia el ámbito laboral.

A todos nuestros profesores universitarios de ingeniería electrónica, por brindarnos conocimientos en cada una de las materias tomadas para el desarrollo profesional.

A nuestros padres por enseñarnos que la mejor herencia es la educación, por sus consejos, valores, motivación y amor.

A nuestro asesor de tesis, el Ingeniero Eduardo Cerna Sánchez, por su confianza y apoyo en el transcurso de toda la investigación.

A todos Gracias

RESUMEN

El presente trabajo de investigación documenta, en primer lugar, el estudio de la problemática de la red de transporte que presenta el enlace principal Trujillo-Ragache del Operador Claro-Perú S.A.C. se parte delimitando y formulando el problema, se proponen objetivos y se formula la hipótesis al problema planteado.

En segundo lugar se desarrollaron las bases teóricas, teniendo como referencia lo estipulado en la primera parte del trabajo, que sirvieron de guía para sostener la estructura y el desarrollo del trabajo de investigación.

Luego de estudiar las respectivas bases teóricas, se plantearon diversas variables de estudio, desde el punto de vista estructural y técnico, para comparar los parámetros de performance a nivel de radio entre las tecnologías planteadas en el enlace Trujillo-Ragache. Luego se detallan las técnicas utilizadas para analizar mediante la simulación los parámetros de: Nivel de Recepción, Margen de Desvanecimiento, Disponibilidad, Indisponibilidad, Capacidad y BER en el enlace dorsal Trujillo-Ragache.

Se muestran los resultados obtenidos de los parámetros mencionados con las diferentes tecnologías y son comparados. También se discuten para poder explicar que tecnología es la más adecuada para poder ser implementada en la red de transporte Trujillo-Ragache del operador Claro-Perú S.A.C.

Finalmente se presentan las conclusiones del trabajo y se proponen recomendaciones necesarias.

ABSTRACT

The present investigation work documents, in first place, the study of the transportation network problem that is present in the main link of the network operator Claro-Perú S.A.C., it starts by delimiting and establishing the problem, proposing objectives and formulating the hypothesis to the given problem.

Secondly the theoretical fundamentals are developed, taking as reference the results stated in the first part of the work, which served as a guide to support the structure and development of the research.

After studying the respective theoretical fundamentals, various study variables were raised from structurally and technically point of view, to compare the parameters of efficiency or performance in radio level between the posed technologies used in the link Trujillo-Ragache. Then the techniques used to analyze are detailed to analyze by simulating the parameters of: Level Reception, Fade Margin, Availability, Unavailability, Capacity and BER on the mainstream link Trujillo-Ragache.

The obtained results of the listed parameters with different technologies are show and compared. Also discussed, to explain wich technology is the most suitable to be implemented in the transportation network Trujillo-Ragache of the operator Claro-Peru S.A.C.

Finally conclusions are presented and necessary recommendations are proposed.

ÍNDICE

DEDICATORIAS	IV
AGRADECIMIENTOS	V
RESUMEN.....	VI
ABSTRACT.....	VII
CAPÍTULO I.....	14
INTRODUCCIÓN	14
1.1. EL PROBLEMA	15
1.2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	16
1.3. CARACTERÍSTICAS DE LA REALIDAD	16
1.4. ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS	16
1.5. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.6. ALCANCE.....	17
1.7. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.8. APORTES	18
1.9. ANTECEDENTES.....	18
1.10. HIPÓTESIS.....	20
1.11. OBJETIVOS	20
CAPÍTULO II	21
MARCO TEÓRICO.....	21
2.1 RED DE TRANSPORTE.....	22
2.2 Elementos de una red de transporte.....	22
2.2.1 Nodos	22
2.2.2 Enlace.....	23
2.3 Técnicas usadas en las redes de transporte.....	24
2.3.1. Multiplexación por División de Frecuencia (MDF, Frequency Division Multiplexing)	24
2.3.3. Jerarquía de multiplexación PDH	26
2.3.5. Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM, Wavelength Division Multiplexing).....	27
2.4 Microwave.....	27
2.4.1 TDM Microwave.....	27
2.4.1.1 Modulación Fija.	28
2.4.2 Hybrid Microwave.	29
2.4.2.1 AM (Modulación Adaptativa).	29
2.4.3. Packet Microwave (Microondas de Paquetes).	30

2.4.4. Packet Microwave versus Híbrido Microwave	32
2.5. Capacidad, Tráfico, Costos y Rentabilidad en Transporte TDM	33
2.6. Capacidad, Tráfico, Costos y Rentabilidad en Transporte Packet Microwave	34
2.7 Enlace Microondas.....	35
2.7.1 Elementos de un Enlace Microondas.	35
2.7.2 Parámetros de Performance de un enlace Microondas.....	36
2.7.2.1 Nivel de Recepción.	36
2.7.2.2 Bit Error Ratio (BER).	37
2.7.2.3 Nivel de Threshold.	37
2.7.2.4 Ruido	37
2.7.2.5 Margen de Desvanecimiento	38
2.7.2.6 Ancho de Banda.	38
2.7.2.7 Disponibilidad	39
2.7.2.8 Indisponibilidad.....	39
2.8 Propagación de Microondas	40
2.8.1 Índice de refracción.....	41
2.8.2 Radio Refractividad.....	41
2.8.3 Gradiente de Refractividad (G) Factor K.	42
2.8.4 Factor K.....	43
CAPÍTULO III	45
MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS	45
3.1. Materiales	46
3.1.1. Población y Muestra.....	46
3.1.2. Unidad de Análisis	46
3.2. Métodos.....	46
3.2.1. Tipo de Investigación	46
3.2.2. Diseño de la Investigación	46
3.2.3. Variables de Estudio y Operacionalización.....	47
3.2.4. Instrumentos de Recolección de Datos	51
3.2.4.1. Guía de entrevista con el personal del área de ingeniería de la Sede Principal Claro Trujillo.....	51
3.2.4.2. Guía de entrevista con el personal Network Operation Center Claro-Trujillo.....	51
3.2.4.3. Plano de la arquitectura de la red en el tramo Trujillo-Ragache del operador Claro-Perú S.A.C.....	51
3.2.4.4. Extracto de hoja de características técnicas de los equipos de la red Claro, en el tramo Trujillo-Ragache.	52

3.2.5.	Procedimientos y análisis de datos	54
CAPÍTULO IV		67
RESULTADOS.....		67
4.1.	RESULTADOS.....	68
4.1.1.	Curvas de Niveles de Recepción SDH y Packet Microwave Adaptive Modulation. 68	
4.1.2.	Curvas de Márgenes de Desvanecimiento SDH y Packet Microwave Adaptive Modulation.	69
4.1.3.	Curvas de Disponibilidades SDH y Packet Microwave Adaptative Modulation. ...	70
4.1.4.	Curvas de Indisponibilidades SDH y Packet Microwave Adaptive Modulation. ...	70
4.1.5.	Curvas de Capacidades SDH y Packet Microwave Adaptative Modulation.....	71
4.1.6.	Curvas Tasa de Error de Bit (BER) SDH y Packet Microwave Adaptative Modulation.	72
4.2.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	73
4.2.1.	Comparativa Nivel de Recepción SDH vs Packet Microwave en Tramo dorsal Trujillo-Ragache.	73
4.2.2.	Comparativa Margen de Desvanecimiento SDH vs Packet Microwave en Tramo dorsal Trujillo-Ragache.....	74
4.2.3.	Comparativa Disponibilidad SDH vs Packet Microwave en Tramo dorsal Trujillo- Ragache. 75	
4.2.4.	Comparativa Indisponibilidad SDH vs Packet Microwave en Tramo dorsal Trujillo- Ragache. 76	
4.2.5.	Comparativa Capacidad SDH vs Packet Microwave en Tramo dorsal Trujillo- Ragache. 77	
4.2.6.	Comparativa Tasa de Error de Bit (BER) SDH vs Packet Microwave en Tramo dorsal Trujillo-Ragache.....	78
CAPÍTULO V		80
CONCLUSIONES		80
5.1.	CONCLUSIONES	81
CAPÍTULO VI.....		82
RECOMENDACIONES		82
6.1.	RECOMENDACIONES	83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		84
7.1	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
ANEXOS.....		88
ANEXO 11:.....		108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.	Tasas de Multiplexación SONET/SDH.....	26
Tabla 2.2.	Evolución Multiplicación por División en Longitud de Onda.....	27
Tabla 3.1	Operacionalización de la Variable Independiente.....	49
Tabla 3.2	Operacionalización de la Variable Dependiente	50
Tabla 3.3	Primera Simulación con Coeficiente de Refractividad 250.	57
Tabla 3.4.	Parámetros Radio del Equipo 9500MPR	60
Tabla 4.1	Valores Promedio de Evaluación de Parámetros Radio SDH vs Packet Microwave.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.	Interconexión de Redes de Acceso y Transporte	22
Figura 2.2.	Enlace Microondas.....	23
Figura 2.3.	Fiber Network	24
Figura 2.4.	Ejemplo Multiplexación y Demultiplexación	25
Figura 2.5.	Jerarquía de Multiplexación PDH.....	26
Figura 2.6.	Multiplexación por División en Longitud de Onda	27
Figura 2.7.	Tráfico TDM Microwave.....	28
Figura 2.8.	Fixed Modulation.....	29
Figura 2.9.	Hybrid Microwave	29
Figura 2.10.	Concepto de Modulación Adaptativa – Huawei	30
Figura 2.11.	Concepto de Modulación Adaptativa – Huawei	32
Figura 2.12.	Diagrama en Bloques de Equipo Packet Microwave.....	32
Figura 2.13.	Hybrid Microwave vs Packet Microwave.....	33
Figura 2.14.	Impacto de Capacidad, Costos y Utilidades en Transporte TDM	33
Figura 2.15.	Impacto de Capacidad, Costos y Utilidades en Transporte IP-RAN	34
Figura 2.16.	Equipamiento de Comunicación RF	35
Figura 2.17.	Pérdidas por Espacio Libre	36
Figura 2.18:	Margen de Desvanecimiento.....	38
Figura 2.19.	Tasa de Error Bit vs Eb/No	40
Figura 2.20.	Coeficientes de Refractividad	42
Figura 2.21.	Curvatura de la Tierra K factor	43
Figura 2.22.	Curvatura de la Tierra K factor	44
Figura 3.1.	Extracto de Características Técnicas 9662LSY	52
Figura 3.2.	Extracto de Características Técnicas 9662LSY	53
Figura 3.4.	Extracto de Características Técnicas 9662LSY	54
Figura 3.5.	Coordenadas de Ubicación Trujillo-Ragache RM.....	55
Figura 3.6.	Coordenadas de Ubicación Trujillo-Ragache RM.....	56
Figura 3.7.	Parámetros de Simulación de Clima Trujillo-Ragache RM.	56
Figura 3.8.	Nivel de Recepción con N=250 software Radio Mobile	57
Figura 3.9.	Extracto de Tablas de Evaluación de Parámetros Radio SDH (64QAM)	59

Figura 3.10.	Extracto de Tablas de Evaluación de Nivel de Recepción	
	Packet Microwave.....	61
Figura 3.11.	Extracto de Tablas de Evaluación de Margen de Desvanecimiento.	
	Packet Microwave.....	62
Figura 3.12.	Extracto de Tablas de Evaluación de Disponibilidad	
	Packet Microwave.....	63
Figura 3.13.	Extracto de Tablas de Evaluación de Indisponibilidad	
	Packet Microwave.....	64
Figura 3.14.	Extracto de Tablas de Evaluación de Capacidad Packet Microwave	65
Figura 3.15.	Tasa de Error Bit vs Eb/No	66
Figura 4.1	Niveles de Recepción SDH y Packet Microwave A.M.	68
Figura 4.2	Márgenes de Desvanecimiento SDH y Packet Microwave A.M.	69
Figura 4.3	Disponibilidad SDH y Packet Microwave A.M.	70
Figura 4.4	Indisponibilidad SDH y Packet Microwave A.M.	71
Figura 4.5	Capacidad SDH y Packet Microwave A.M.	72
Figura 4.6	Tasa de Error de Bit SDH y Packet Microwave A.M.....	72
Figura 4.7	Nivel de Recepción SDH vs Packet Microwave A.M.	74
Figura 4.8	Margen de Desvanecimiento SDH vs Packet Microwave A.M.....	75
Figura 4.9	Disponibilidad SDH vs Packet Microwave A.M.....	76
Figura 4.10	Indisponibilidad SDH vs Packet Microwave A.M	77
Figura 4.11	Capacidad SDH vs Packet Microwave A.M.....	78
Figura 4.12	BER SDH vs Packet Microwave A.M.....	78

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. EL PROBLEMA

Según Lehpamer (2010)¹, una red de transporte (también denominada red troncal, núcleo de red o backbone) tiene como objetivo concentrar el tráfico de información que proviene de las redes de acceso para llevarlo a mayores distancias. En una red de transporte existen dos medios físicos para poder llevar la información (voz y datos): 1) vía microondas (ondas electromagnéticas), y 2) vía fibra óptica (luz). Existen, por otro lado, dos jerarquías de transporte: la jerarquía SDH (Synchronous Digital Hierarchy) y la jerarquía PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy). Ambas jerarquías digitales utilizan las técnicas TDM (Time-Division Multiplexing) para poder digitalizar y transmitir la información.

Como parte del crecimiento y la evolución de las redes móviles en nivel nacional, específicamente en la sierra de La Libertad y en otras regiones como Cajamarca, Ancash, Puno, Cerro de Pasco, etc, se ha originado un aumento en la demanda de servicios de datos (acceso a la red de internet, llamadas en tiempo real, multimedia, etc) por parte de los usuarios (empresas, minería, universidades, colegios). Para Edwin Hurtado, Jefe de Operaciones de Claro-Perú en la Región Norte², “la demanda de servicios de datos hoy en día ha crecido notablemente. Se han desarrollado, por ejemplo, planes de consorcio en las 12 provincias de la región La Libertad, que tratan sobre el análisis de las potencialidades y de cómo se aprovecharán para lograr su desarrollo a futuro. Gracias a estas potencialidades se plantean objetivos en los cuales se menciona adherir nuevas PYMES, mejorar el sistema de las telecomunicaciones, supermercados, aumento de minería, empresas de servicios y de bienes”.

Para Demetrio Vega, ingeniero de operaciones Claro-Trujillo S.A.C.³, “actualmente mucha de las redes de transporte en nivel nacional aún siguen operando con sistemas SDH, que emplean las técnicas TDM para transportar datos y voz. Un ejemplo es la red de transporte principal que interconecta a la ciudad de Trujillo con la parte sierra de La Libertad (Red Dorsal Trujillo-Ragache.”

Las técnicas TDM empleadas por los sistemas SDH tienen ciertas limitaciones de capacidad y flexibilidad, al adaptarse a cambios tan significativos en la demanda de servicios de datos y los costos que éstas requieren para su implementación.

¹ HARVEY, Lehpamer (2010). Microwave Transmission Networks, Planning, Design and Deployment.

² Anexo 02: Entrevista a Jefe de Operaciones de Claro-Perú S.A.C. en la Región Norte.

³ Anexo 01: Entrevista a Ingeniero de operaciones Claro-Perú S.A.C.

1.2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Por lo expuesto anteriormente, el presente trabajo de investigación se delimita a realizar una comparativa a nivel radio; entre el sistema actual de transporte SDH y el sistema Packet Microwave en el tramo dorsal Trujillo- Ragache de la red del operador Claro-Perú S.A.C, para señalar las ventajas o desventajas a nivel radio que presentan ambos sistemas.

1.3. CARACTERÍSTICAS DE LA REALIDAD

- a. Presencia y expectativa de aumento en la demanda de servicios de datos en ciudades de la sierra de la Libertad.
- b. Migración parcial de equipos de transmisión microondas TDM a equipos de transmisión por paquetes en el enlace con la sierra Liberteña, mientras que el enlace principal Trujillo-Ragache aún se mantiene en TDM SDH.
- c. Ineficiencia de técnicas TDM para el transporte de paquetes.

1.4. ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS

- a. Presencia y expectativa de aumento en la demanda de servicios de datos en ciudades de la sierra de la Libertad.**

Según Edwin Hurtado, hay una tendencia de migración de algunas de las redes de transporte, debido al aumento de servicios que ofrecen las diversas operadoras Claro, Movistar, Bitel y Entel. Existe, además, el Plan de Desarrollo Regional Concertado Región La Libertad 2010 – 2021, el cual trata sobre el análisis de las potencialidades que presentan las doce provincias de La Libertad y de cómo se aprovecharán para lograr su desarrollo a futuro. Gracias a estas potencialidades se plantean objetivos en los cuales se menciona adherir nuevas PYMES, mejorar el sistema de las telecomunicaciones, más comercio, aumento de minería, empresas, etcétera.

- b. Migración parcial de equipos de transmisión microondas TDM a equipos de transmisión por paquetes.**

En una visita realizada al centro de operaciones de la ciudad de Trujillo, se nos hizo llegar un documento de la arquitectura de la red Claro (Ragache Migrado Parcial)⁴,

⁴ Anexo 04: Plano de la arquitectura de la red de transporte Trujillo-Ragache del operador Claro-Perú S.A.C.

en el que se observa la migración parcial de equipos de transmisión microondas TDM a equipos de transmisión por paquetes Packet Microwave, en estaciones de la zona sierra de La Libertad (Otuzco, Alto Chicama, Quiruvilca). Puede verse, asimismo, que el enlace principal sigue utilizando equipos de baja capacidad, que trabajan con técnicas TDM. En el documento mencionado se observa también que el Tramo Trujillo-Ragache aún sigue operando con equipos que trabajan por conmutación de circuitos TDM.

c. Ineficiencia de técnicas TDM para el transporte de paquetes.

El tráfico (voz y datos) que cursa por esta red es enviado utilizando equipos de baja capacidad que operan con TDM. Según los informes Fujitsu – Wireless Backhaul, MEF- Microware Technology for Carrier (2011) y Jorge Cortez, ingeniero de Network Operation Center⁵, el tráfico de paquetes es un tráfico flexible, generando desperdicio e ineficiencia en el uso de los recursos radio, cuando se está trabajando con TDM.

1.5. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué ventajas comparativas a nivel radio ofrece la tecnología Packet Microwave respecto de la tecnología actual SDH en el tramo Trujillo-Ragache del operador Claro-Perú S.A.C.?

1.6. ALCANCE

El presente trabajo de investigación está delimitado al análisis RF del sistema de transporte actual SDH versus el análisis del sistema Packet Microwave, para el tramo dorsal Trujillo -Ragache de la red del operador Claro-Perú S.A.C y la comparación de ambos en sus diferentes parámetros a nivel radio.

1.7. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El presente trabajo de investigación se justifica, porque nos permite realizar un estudio académico, para poder contrastar dos tecnologías de transporte reales.

⁵ Anexo 03: Entrevista al ingeniero de Network Operation Center del operador Claro-Perú S.A.C.

Este trabajo de investigación se justifica, comercialmente, porque el proyecto de investigación va dirigido a cubrir la necesidad de un operador (CLARO – PERÚ S.A.C.), el cual se beneficiaría al utilizar el estudio como referencia para tomar una decisión acerca de la migración de su tecnología de transporte.

Este trabajo de investigación se justifica, socialmente, porque el incremento de las capacidades sobre las mejoras de los sistemas de transporte trae consigo el incremento de tecnología de acceso a más ciudades y, por lo tanto, la capacidad de satisfacer las nuevas demandas de servicios de la población.

1.8. APORTES

- Un estudio de las ventajas y desventajas SDH a nivel de radio.
- Un estudio de las características de Packet Microwave a nivel radio.

1.9. ANTECEDENTES

Para sustentar este trabajo de investigación se ha tomado como antecedentes diversos estudios relacionados con los sistemas de transporte SDH y Packet Microwave.

a. MEF Microwave Technologies for Carrier Ethernet Services.

PAPER

Autor: Julio C. Velasco et al.

Fuente: Portal Web

https://metroethernetforum.org/Assets/White_Papers/MEF_Microwave_Technology_for_Carrier_Ethernet_Final_110318_000010_000.pdf..

Año: 2011.

Resumen:

En paper consultado trata acerca del estudio comparativo entre los sistemas SDH y Packet Microwave. Mostrando curvas comparativas donde da a conocer la no rentabilidad que presenta implementar un sistema con tecnología TDM para el operador, frente al incremento con la demanda de servicios de datos en los últimos años. En las curvas se muestra el sobredimensionamiento de recursos radio o la baja capacidad que son requeridos para el transporte de paquetes; además muestra curvas sobre la rentabilidad de instalar sistemas que emplean tecnología Packet Microwave, donde se aprecia que el tráfico TDM y el tráfico de paquetes van separados y el impacto que tiene sobre los costos y la rentabilidad para el operador. También hace

referencia a algunas características de implementación con tecnología Packet Microwave y otros tipos de tecnología Microwave.

Lo más significativo para el desarrollo de la presente tesis es :la comparativa de algunos parámetros tales como: **capacidad, tráfico, costos y rentabilidad en transporte TDM frente a capacidad, tráfico, costos y rentabilidad en transporte Packet Microwave.**

b. Estudio de la migración IPRAN del operador América Móviles Perú S.A.C. para ampliar la capacidad de interconexión del Nodo B Huascar en la Urbanización Bella Unión Provincia Constitucional del Callao.

Tesis de grado.

Autores: Br. James Jonathan, Rodríguez Toribio

Br. Rusbert Gamaniel, Rodríguez Ramírez

Fuente: Universidad Privada Antenor Orrego.

Ubicación: Trujillo - Perú

Año: 2008

Resumen:

En la tesis consultada se realizó el estudio de Ingeniería requerido por el operador América Móviles Perú S.A.C. para la migración de la tecnología de backhaul PDH microondas de sus sites 2G y 3G ubicados en la zona denominada Bella Unión de la Provincia Constitucional del Callao. La tecnología elegida para tal migración es conocida como IPRAN. En el inicio del trabajo se aborda la problemática actual del backhaul PDH y SDH acerca de los problemas que experimenta el operador al mantener esta tecnología en un escenario donde el creciente tráfico de datos hace muy costosa e ineficiente su operación. Luego se da un panorama sobre la evolución del backhaul microondas hasta llegar a describir tendencias actuales en equipos de transporte inalámbricos los cuales facilitan la migración All-IP en Redes móviles. Se describe la actual configuración y equipamiento PDH/SDH empleado, para luego analizar las razones de migrar hacia una tecnología basada en transporte de paquetes (Packet Microwave). Además se pronostica un 80% del tráfico de paquetes vs un 20% de tráfico de voz en los próximos años (2018).

Lo más significativo para el desarrollo de la presente tesis son: las simulaciones realizadas en el software radio mobile de un backhaul IP-RAN empleando equipamiento Packet Microwave para mejorar la capacidad de la red.

1.10. HIPÓTESIS

a. General

- El empleo de equipamiento basado en tecnología Packet Microwave en el tramo Trujillo - Ragache del Operador Claro-Perú S.A.C. permite mejorar algunos parámetros de performance a nivel de radio frente a los sistemas SDH.

1.11. OBJETIVOS

a. Objetivo General

- Realizar un estudio comparativo sobre los parámetros de performance a nivel radio de las redes de transporte SDH y Packet Microwave en el enlace principal Trujillo-Ragache para el operador Claro Perú S.A.C.

b. Objetivos Específicos

- Describir las principales características a nivel radio de la tecnología de transporte SDH empleada en el tramo dorsal Trujillo – Ragache de la Red Claro Perú S.A.C.
- Describir las principales características a nivel radio de la tecnología de transporte Packet Microwave para el tramo dorsal Trujillo – Ragache de la Red Claro Perú S.A.C.
- Realizar una comparación de los parámetros de performance a nivel radio de ambos sistemas en el enlace Trujillo – Ragache Claro Perú S.A.C.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 RED DE TRANSPORTE

Según Lehpamer (2010), una red de transporte (también denominada red troncal, núcleo de red o backbone) tiene como objetivo concentrar el tráfico de información que proviene de las redes de acceso para llevarlo a mayores distancias. La figura 2.1 muestra la interconexión existente entre las redes de acceso y las redes de transporte.

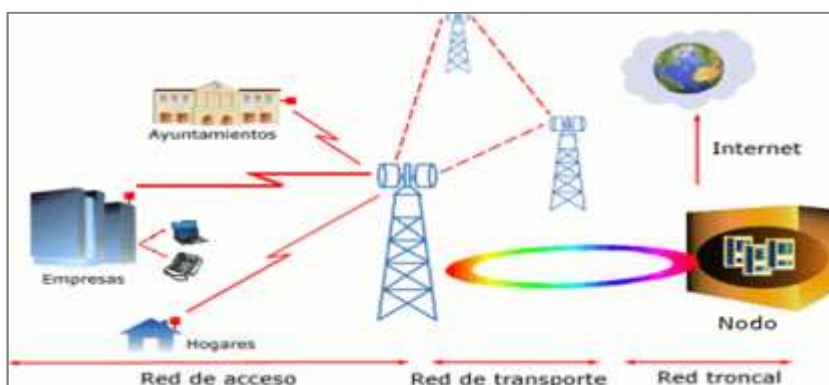


Figura 2.1. Interconexión de Redes de Acceso y Transporte.

Fuente: HARVEY, Lehpamer (2010).

2.2 Elementos de una red de transporte

Para Lehpamer (2010), se distingue dos elementos:

2.2.1 Nodos

Los nodos, parte fundamental en cualquier red de telecomunicaciones, son los equipos encargados de realizar las diversas funciones de procesamiento que requieren cada una de las señales o mensajes que circulan o transitan a través de los enlaces de la red. Desde un punto de vista topológico, los nodos proveen los enlaces físicos entre los diversos canales que conforman la red. Los nodos de una red de telecomunicaciones son equipos (en su mayor parte digitales, aunque pueden tener alguna etapa de procesamiento analógico, como un modulador) que realizan las siguientes funciones:

- Establecimiento y verificación de un protocolo. Los nodos de la red de telecomunicaciones realizan los diferentes procesos de comunicación de acuerdo con un conjunto de reglas que les permiten comunicarse entre sí. Este conjunto de reglas se conoce con el nombre de protocolos de comunicaciones, y se ejecutan en los nodos para garantizar transmisiones exitosas entre sí, utilizando para ello los canales que los enlazan.

- Transmisión. Existe la necesidad de hacer un uso eficiente de los canales, por lo cual, en esta función, los nodos de la red adaptan al canal la información o los mensajes en los cuales está contenida, para su transporte eficiente y efectivo a través de la red.
- Interface. En esta función el nodo se encarga de proporcionar al canal las señales que serán transmitidas, de acuerdo con el medio de que está formado el canal. Esto es, si el canal es de radio, las señales deberán ser electromagnéticas a la salida del nodo, independientemente de la forma que hayan tenido a su entrada y también de que el procesamiento en el nodo haya sido por medio de señales eléctricas
- Control de flujo. Todo canal de comunicaciones tiene una cierta capacidad de manejar mensajes, y cuando el canal está saturado ya no se deben enviar más mensajes por medio de ese canal, hasta que los mensajes previamente enviados hayan sido entregados a sus destinos.

2.2.2 Enlace

Para Lehpamer (2010), se considerado como el medio físico a través del cual viaja la información, concentrada por las redes de acceso a mayores distancias. Según Manning (2009), existen dos tipos de enlace:

- Enlace Vía Microondas: La radiocomunicación por microondas se refiere a la transmisión de datos o energía a través de radiofrecuencias con longitudes de onda del tipo microondas.

Se describe como microondas a aquellas ondas electromagnéticas cuyas frecuencias van desde los 500 MHz hasta los 300 GHz o aún más.

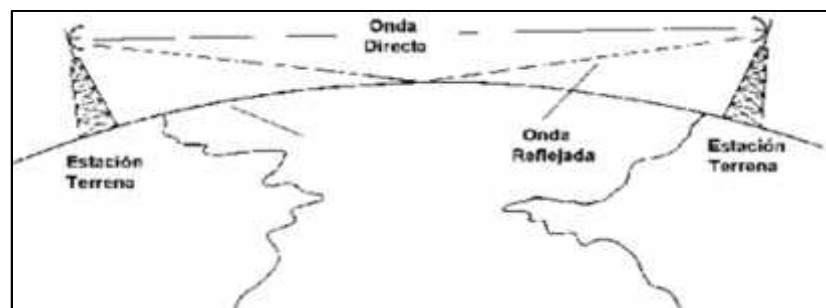


Figura 2.2. Enlace Microondas.

Fuente: TREVOR, Manning (2009).

- **Enlace Vía Fibra Óptica:** la comunicación por fibra óptica es un método de transmisión de información de un lugar a otro enviando señales de luz a través de fibra óptica. La luz en forma de ondas electromagnéticas viaja es modulada para transmitir información.



Figura 2.3. Fiber Network.

Fuente: TREVOR, Manning (2009).

2.3 Técnicas usadas en las redes de transporte

Para Manning (2009), se distinguen tres tipos de técnicas de multiplexación usadas en el transporte:

2.3.1. Multiplexación por División de Frecuencia (MDF, Frequency Division Multiplexing)

Utilizada en sistema de transmisión analógica. Mediante este procedimiento, el ancho de banda total del medio de transmisión es dividido en porciones, asignando cada una de estas fracciones a un canal.

2.3.2. Multiplexación por División de Tiempo (TDM Time Division Multiplexing)

TDM es la segunda técnica de multicanalización que apareció en el mercado después de la aparición de FDM. Un multicanalizador basado en TDM empaqueta un conjunto de información (tramas de bits) de diferentes fuentes en un solo canal de comunicación en ranuras de tiempo diferentes. Como se observa en la figura 2.4 las cuatro computadoras quieren transmitir su información y disponen del mismo canal, entonces se les asigna un intervalo de tiempo y toda la información sale por un único canal; también muestra dos elementos que son el multiplexor que es un concentrador de información; toda la información que llega al multiplexor es multiplexada generando tramas que son transmitidas, del otro lado

muestra al demultiplexor que hace el proceso inverso para poder recuperar la información.

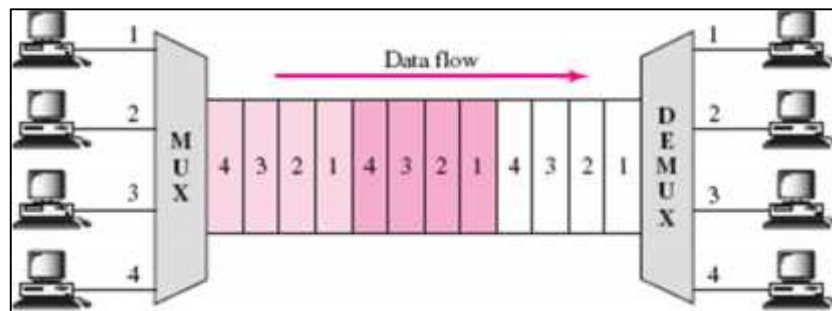


Figura 2.4. Ejemplo Multiplexación y Demultiplexación.

Fuente: TREVOR, Manning (2009).

Este sistema de transmisión ha sido tan exitoso que se utiliza hasta hoy en día. Una aplicación típica de esta técnica es en los circuitos privados, basados en el formato E1. E1 es un estándar de la ITU (International Telecommunication Union, por sus siglas en inglés, que significa Unión Internacional de Telecomunicaciones), que soporta una tasa de transmisión de 2.048 Mbps.

Existen dos jerarquías digitales que utilizan estas técnicas de multiplexación: La Jerarquía Digital Plesiócrona conocida como PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) y la jerarquía digital síncrona conocida como SDH (Synchronous Digital Hierarchy).

La Jerarquía Digital Plesiócrona conocida como PDH. Según **Harvey Lehpamer. (2004)**, en el protocolo PDH la velocidad básica de transferencia de información, o primer nivel jerárquico, es un flujo de datos de 2,048 Kbit/s, generalmente conocido de forma abreviada como “2 megas”, y también nombrado como E1.

Este flujo se divide en 32 canales de 64 Kbps, más conocido como 64K y nombrado como E0, los cuales pueden usarse completamente en la transmisión de datos.

Según **Harvey Lehpamer. (2004)**, en el caso particular de transmisiones de voz, este flujo se divide en 30 canales de 64K más otros 2 canales de 64 Kbps utilizados para señalización y sincronización.

2.3.3. Jerarquía de multiplexación PDH

La figura 2.5 muestra la forma en la cual se puede llegar desde velocidades de 64 Kbit/s hasta niveles jerárquicos superiores de hasta 565 Mbit/s, lo cual como se puede observar conlleva varias etapas de multiplexación. El procedimiento de demultiplexación es exactamente el mismo pero lógicamente en orden inverso.

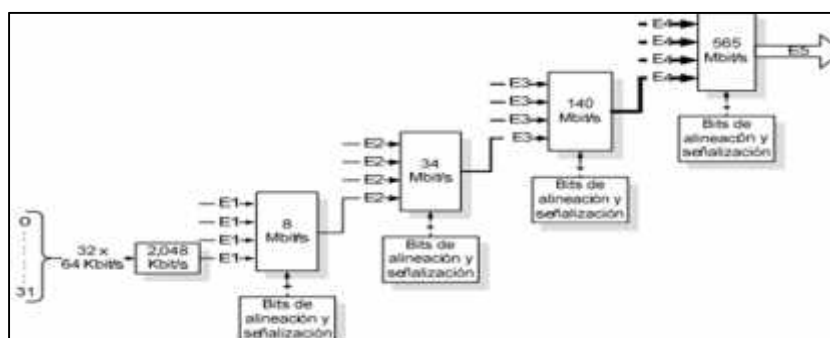


Figura 2.5. Jerarquía de Multiplexación PDH.

Fuente: HARVEY, Lehpamer (2005).

2.3.4. Jerarquía Digital Síncrona (SDH)

En SDH la trama básica es el STM-1 cuya capacidad es de 155.56Mbps; de sus siglas en inglés Synchronous Transport Module que significa Módulo de Transporte Síncrono. Según **Harvey Lehpamer. (2005)**, las tramas de mayor velocidad SDH son múltiplos del STM-1. La tabla 3 muestra al detalle las distintas velocidad alcanzadas por SDH cuando se van multiplexando los STM-1

Tabla 2.1. Tasas de Multiplexación SONET/SDH.

Sonet		SDH	Tasa de Datos (Mbps)
Eléctrica	Óptica		
STS-1	OC-1	-----	51.84
STS-3	OC-3	STM-1	155.52
STS-9	OC-9	STM-3	466.56
STS-12	OC-12	STM-4	622.08
STS-18	OC-18	STM-6	933.12
STS-24	OC-24	STM-8	1,244.16
STS-36	OC-36	STM-12	1,866.24
STS-48	OC-48	STM-16	2,488.32
STS-192	OC-192	STM-64	9,953.28

Fuente: HARVEY, Lehpamer (2005).

2.3.5. Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM, Wavelength Division Multiplexing).

Como se observa en la Figura 2.6 es una tecnología que multiplexa varias señales sobre una sola fibra óptica mediante portadoras ópticas de diferentes longitudes de onda, usando luz procedente de un láser o LED.

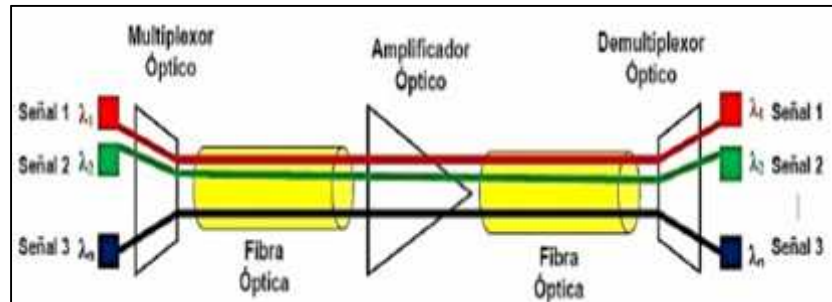


Figura 2.6. Multiplexación por División en Longitud de Onda.

Fuente: TREVOR, Manning. (2009)

En la tabla número 2.2 se indican las bandas que utiliza WDM Y DWDM, así como también el número de portadoras que utilizan, recalcando que DWDM maneja mayor número de portadoras.

Tabla 2.2.Evolución Multiplicación por División en Longitud de Onda.

Época	Tipo de WDM	Número de portadoras (número de canales)	Banda	Separación entre portadoras
80's	Banda Estrecha	2	1310 nm, 1550 nm	
Principios 90's	WDM	4-8	1550 nm Banda C	800 – 400 GHz
Mediados 90's	DWDM	16-32	1550 nm Banda C	200 – 100 GHz
Finales 90's	DWDM	64-128	1550 nm Banda C	50 – 25 GHz
Actual	DWDM	160-320	1550 nm Banda C 1625 nm Banda L	25 – 12,5 GHz

Fuente: TREVOR, Manning (2009)

2.4 Microwave

Existen tres formas de tecnología Microwave:

2.4.1 TDM Microwave

El tipo de Backbone y Backhaul más común en la actualidad son los sistemas Microwave PDH/SDH, los cuales están optimizados para lo que ha sido, históricamente, el tráfico dominante tipo - voz. Si bien sus puntos de precio iniciales pueden parecer atractivos, el pobre desempeño al manejar tráfico basado

en paquetes, que pronto representarán más del 80% del tráfico móvil, hace que sea solo una solución a corto plazo. Además, la falta de flexibilidad y eficiencia significa que en realidad tienen un costo significativamente más alto por bit que los sistemas de microondas de próxima generación

La figura 2.7 muestra el tipo de tráfico que transporta la tecnología TMD Microwave; es decir, transporta SDH/PDH en su forma nativa (E1) y transporta paquetes empleando la tecnología EOS (Ethernet sobre PDH/SDH).

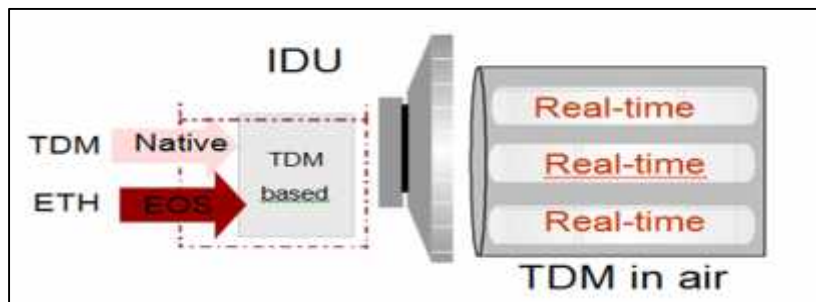


Figura 2.7. Tráfico TDM Microwave.

Fuente: Huawei OPTIX RTN620 Product Description, 2006

TDM Microwave es compatible con el esquema de modulación fija de QPSK a 128QAM, y cuenta con poca capacidad.

2.4.1.1 Modulación Fija.

La modulación fija se refiere a un esquema de modulación en el que un esquema de modulación se adopta invariablemente cuando el enlace de radio se está ejecutando. Adoptada la modulación fija, el esquema de modulación se puede configurar a través de software. Un esquema de modulación puede variar de QPSK a 256QAM. La figura 2.8 muestra un esquema de modulación fija; es decir, muestra la priorización de la voz, asegurando una buena modulación para este tráfico primordial y así lograr una buena calidad que no sea afectada por diferentes escenarios.

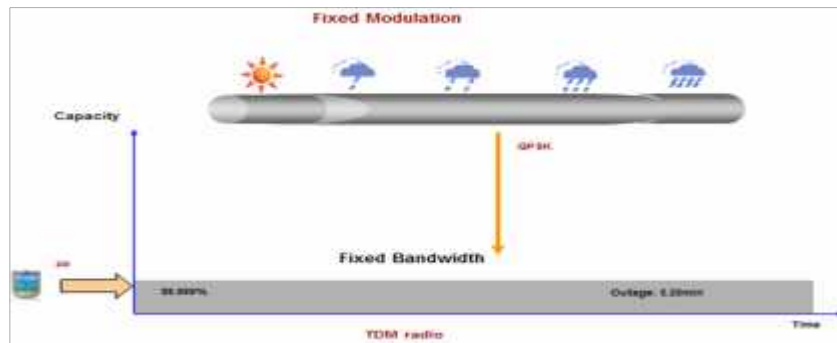


Figura 2.8. Fixed Modulation.

Fuente: Huawei OPTIX RTN620 Product Description, 2006

2.4.2 Hybrid Microwave.

El sistema de microondas híbridos ofrece la ventaja de llevar a TDM y Ethernet en sus formas nativas. Esto permite a los proveedores de servicios seguir apoyando el tráfico TDM mientras se expande, al mismo tiempo, su capacidad de tráfico de datos. La figura 2.9 muestra cómo funciona el sistema Híbrido Microwave; es decir, emplea dos sistemas independientes: uno para transmitir la voz en su forma nativa (E1) y otro sistema para la transmisión de Ethernet en su forma nativa (Paquetes).

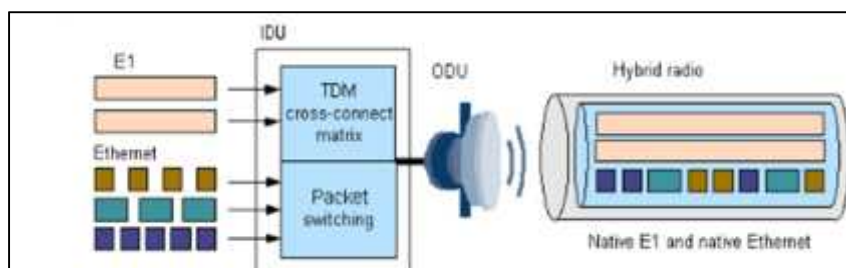


Figura 2.9. Hybrid Microwave.

Fuente: Huawei OPTIX RTN620 Product Description, 2006

El sistema Híbrido Microwave emplea el sistema de modulación AM (Modulaciones Adaptativas)

2.4.2.1 AM (Modulación Adaptativa).

A través de la tecnología de AM, el microondas Hybrid utiliza un esquema de modulación de alta eficiencia cuando el canal es de mejor calidad. Por lo tanto, más servicios de usuario pueden ser transmitidos y la eficiencia de la transmisión y la utilización del espectro se mejoran. Cuando la calidad del canal se degrada, el

microondas Hybrid utiliza el esquema de modulación de baja eficiencia, en el que solo se transmiten los servicios de alta prioridad. Así, la capacidad anti-interferencia de los enlaces se ha mejorado y la disponibilidad de los enlaces en que se transmiten los servicios de alta prioridad está garantizada.

Los servicios E1 son de la más alta prioridad en la transmisión de microondas híbrido basado en AM. Los Servicios Ethernet se clasifican en flujos de diferentes prioridades fundamentadas en la tecnología de CoS. Las microondas Hybrid utilizan el esquema de modulación de más baja eficiencia. El equipo transmite servicios de E1 solamente si el ancho de banda de servicio es mayor que el ancho de banda total de los servicios E1. Los servicios de Ethernet de alta prioridad pueden ser transmitidos. Cuando las ondas microondas Hybrid utilizan otros esquemas de modulación, el aumento de ancho de banda puede ser utilizado para transmitir servicios de Ethernet. En este caso, la disponibilidad de los enlaces en los cuales se transmiten los servicios E1 y los servicios Ethernet de alta prioridad puede ser asegurada y la capacidad para la transmisión de servicios Ethernet aumenta.

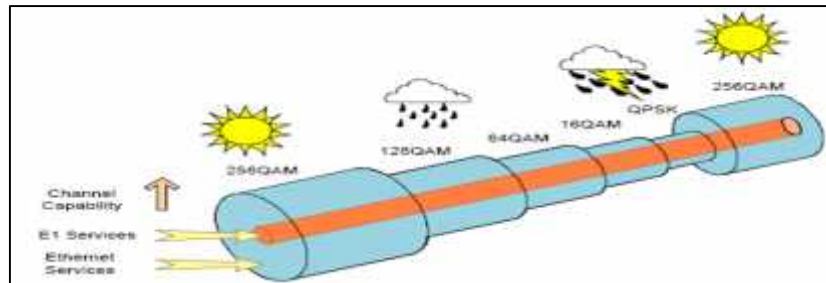


Figura 2.10. Concepto de Modulación Adaptativa – Huawei.

Fuente: Huawei OPTIX RTN620 Product Description, 2006

2.4.3. Packet Microwave (Microondas de Paquetes).

Maneja paquetes sobre Carrier Ethernet nativa, transportando tráfico multimedia de manera eficiente y permitiendo a los operadores lanzar servicios de datos costo-efectiva sin afectar el servicio de voz tradicional. Con el uso de paquetes microondas el operador mantiene una única red de paquetes que aloja tanto TDM y el tráfico IP / Ethernet.

La tecnología Packet Microwave aparece por la creciente demanda de servicio de paquetes frente al de voz. Antiguamente, la voz gobernaba el mundo de las comunicaciones y se podía dimensionar arquitecturas fijas para su transmisión con técnicas TDM. Con el pasar de los años, ha ido apareciendo un nuevo tráfico, el cual cada día gana mayor demanda (tráfico de datos). Este tráfico es un tráfico cambiante, esporádico, de tipo ráfaga y que, en la actualidad, aún se sigue transmitiendo con la voz, usando técnicas TDM.

Debido a que el tráfico de paquetes es un tráfico esporádico, no se puede dimensionar una cantidad específica de recursos radio para su transmisión. La tecnología Packet Microwave es una tecnología que permite la transmisión de voz y datos, pero haciendo una priorización sobre una de ellas y evitando el sobredimensionamiento de recursos radio.

Esta tecnología está basada en la priorización de la transmisión de voz; es decir, en considerar a la voz como un recurso fundamental, el cual debe ser transmitido con buena calidad, debiendo utilizar para ello técnicas de modulaciones adecuadas. Dentro de las ventajas de Packet Microwave se puede incluir:

- Mayores velocidades de transferencia de datos.
- Modulación Adaptativa.
- Modulación de Mayor Orden.
- Mayores capacidades de transferencia de datos

La Figura 2.11 muestra el concepto de modulación adaptativa empleado (AM). Se puede apreciar que el enlace TDM tradicional es llevado hasta el extremo permisible por las técnicas de modulación mientras que el clima y los desvanecimientos sean moderados. Una vez que se produzca degradación del enlace por efectos climáticos u otras razones, el orden de la modulación es disminuido hasta lograr el mínimo posible necesario para garantizar la transmisión del tráfico de mayor prioridad. En el caso mostrado esta prioridad corresponde a los servicios de voz.

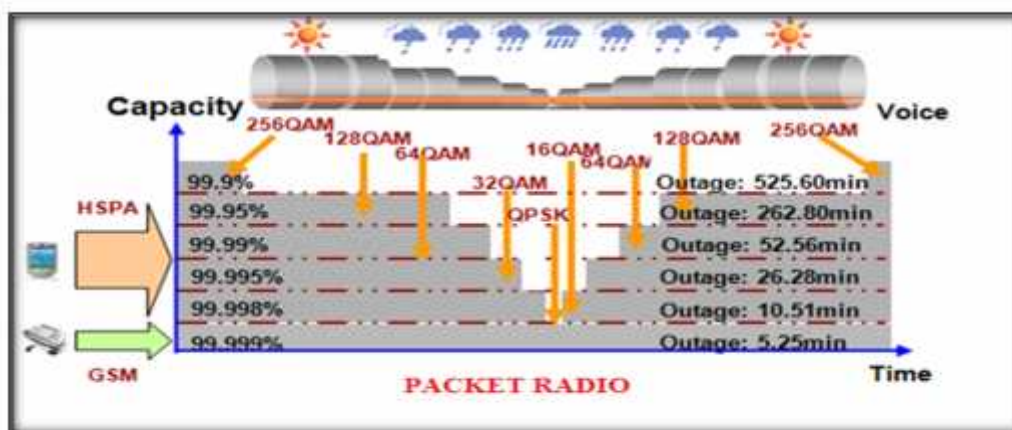


Figura 2.11. Concepto de Modulación Adaptativa – Huawei.

Fuente: Huawei OPTIX RTN620 Product Description, 2006

Cabe destacar los aspectos de disponibilidad mostrados en la Figura 2.11. Debido a que la transmisión de paquetes no reviste una alta exigencia en cuanto a disponibilidad, se puede aceptar un incremento en el orden de la modulación de manera que se pueda transmitir en caso de ser requerido una capacidad de datos alta. En caso se requiera conservar una alta disponibilidad priorizando servicios, se puede optar por reducir el orden de modulación, pero con la consecuente disminución de disponibilidad.

La figura 2.12 muestra la arquitectura de un equipo que soporta tecnología Packet Microwave. Se puede apreciar que converge a las dos sistemas TDM como Ethernet, los cuales son transmitidos empleando una sola portadora vía microondas.

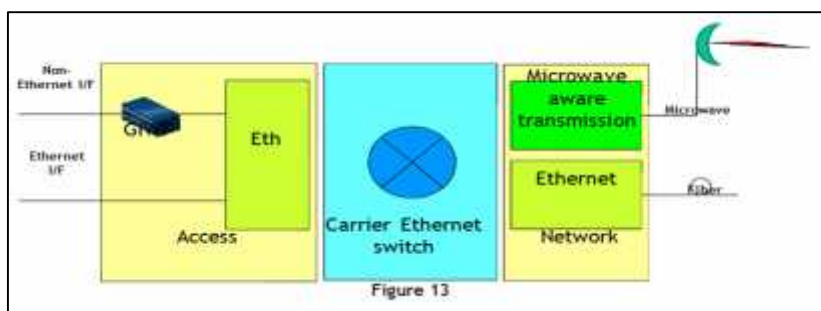


Figura 2.12. Diagrama en Bloques de Equipo Packet Microwave.

Fuente: Metro Ethernet Forum, Febrero 2011

2.4.4. Packet Microwave versus Híbrido Microwave

La imagen 2.13 muestra la comparación entre el Híbrido Microwave y el Packet Microwave, donde se puede apreciar la gran diferencia en cuanto a instalación y mantenimiento, debido a que el sistema híbrido emplea un sistema para transmitir

TDM y otro para transmitir Packet Microwave. En cambio, el sistema Packet Microwave utiliza un solo sistema (una portadora) para la transmisión de voz (TDM) y paquetes.

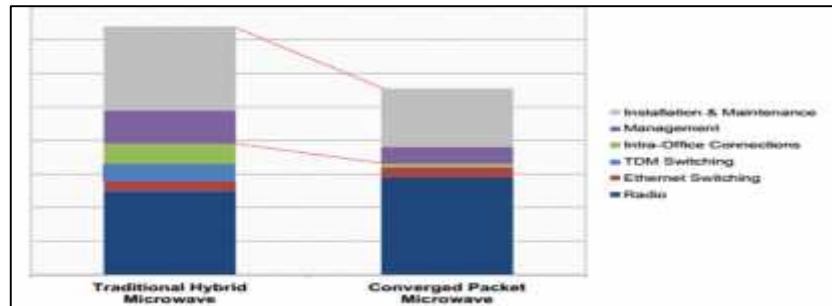


Figura 2.13. Hybrid Microwave vs Packet Microwave.

Fuente: Metro Ethernet Forum, Febrero 2011

2.5. Capacidad, Tráfico, Costos y Rentabilidad en Transporte TDM

La tecnología de transmisión digital TDM fue concebida originalmente para el transporte de voz, es así que los incrementos de tráfico de voz van generando patrones de uso con un crecimiento estable y predecible. Sin embargo en el transporte de datos de banda ancha móvil, la rentabilidad de los servicios de datos no aumenta de manera proporcional con la capacidad de transporte instalada.

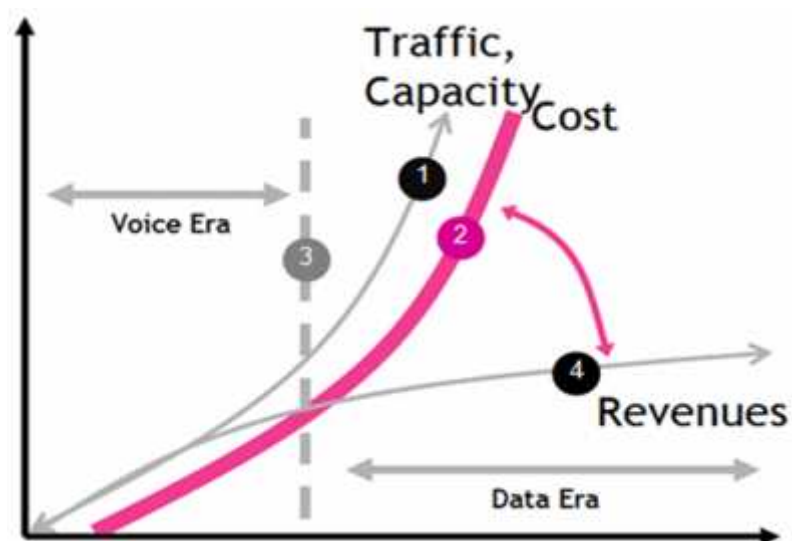


Figura 2.14. Impacto de Capacidad, Costos y Utilidades en Transporte TDM.

Fuente: Metro Ethernet Forum, Febrero 2011

La Figura 2.14 ilustra una comparación en los ratios de capacidad, tráfico, costos y utilidades en una interfaz de transporte tipo TDM. En primer lugar se destaca la curva N° 1, la cual resalta la característica principal de TDM en la que el aumento de capacidad va directamente ligada al aumento de tráfico. Es así que para poder transportar más tráfico se necesitarán siempre más recursos (E1's, time slots, o similares) y esta característica es independiente si el flujo de información es voz o es datos. Por ello para el operador los costos se van incrementando proporcionalmente a la cantidad de recursos y a la cantidad de tráfico transportado. Esta última característica se aprecia en la curva N° 2

La misma Figura 2.14 nos muestra también una línea de ruptura (Línea N° 3) simbolizada con líneas discontinuas verticales. Esta línea distingue el espacio de tiempo a partir del cual se da el mayor dominio del tráfico de datos sobre el tráfico de voz. En este punto se resalta la Curva N° 4, la cual indica la tendencia de rentabilidad para el operador. Se puede apreciar que mientras el tráfico dominante es del tipo voz para TDM, se obtiene un aceptable margen de rentabilidad sobre los costos, sin embargo a partir del punto de ruptura, o del dominio del tráfico de datos, la rentabilidad del transporte TDM va disminuyendo hasta reducir su crecimiento y caer ante los altos costos. Es decir mientras que los costos aumentan el operador va perdiendo rentabilidad.

2.6. Capacidad, Tráfico, Costos y Rentabilidad en Transporte Packet Microwave

La extrema variabilidad y enorme requerimiento de ancho de banda hacen que se considere la implementación de una red de transporte basada en Packet Microwave.

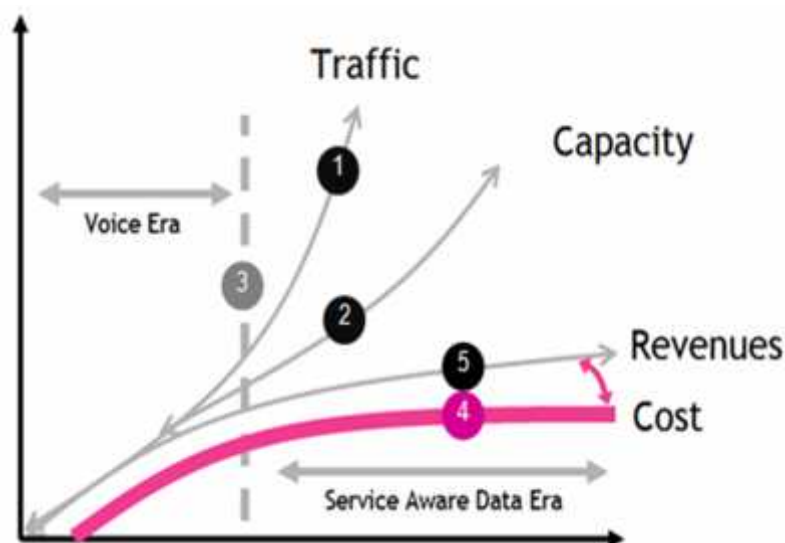


Figura 2.15. Impacto de Capacidad, Costos y Utilidades en Transporte IP-RAN.

Fuente: Metro Ethernet Forum, Febrero 2011

La Figura 2.15 ilustra una comparación en los ratios de capacidad, tráfico, costos y utilidades en una interfaz de transporte tipo Packet Microwave. En primer lugar se destacan las tendencias de las curvas de Tráfico Ofrecido y Capacidad Instalada (Curvas N° 1 y 2 respectivamente), en las cuales puede observarse que en la medida que el servicio transportado sea predominantemente tráfico de datos, el aumento de capacidad Packet Microwave permite transportar mayor tráfico en comparación al transporte TDM. Esto es, debido a las características dinámicas del flujo de datos se pueden aprovechar recursos en desuso por otros usuarios y llegar a cubrir los requerimientos de tráfico pico.

Es importante resaltar que a partir de la línea de ruptura N° 3, se distingue claramente que los costos mantienen límites moderados (Curva N° 4), lo cual permite al operador márgenes de ganancia mucho más aceptables que con transporte TDM (Curva N° 5).

2.7 Enlace Microondas.

Es aquel que provee conectividad entre dos sitios, en el caso de microondas con línea de vista usando equipo de radio con frecuencias de portadora por encima de 3GHz y por debajo de los 30GHz, los rayos de microondas se propagan por la Tropósfera.

2.7.1 Elementos de un Enlace Microondas.

La siguiente imagen muestra el equipamiento a un enlace a nivel de radio necesario para la transmisión y recepción de la señal emitida.

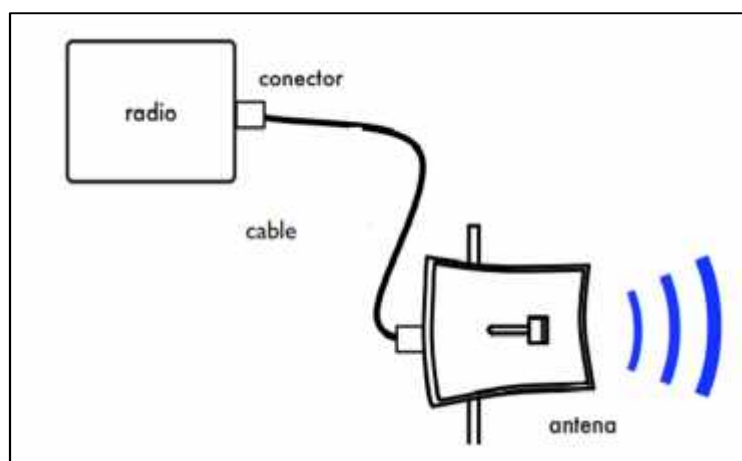


Figura 2.16. Equipamiento de Comunicación RF.

Fuente: www.wikipedia.org (2015)

a. Lado de Transmisión.

- Potencia de Transmisión, pérdidas en el cable y/o conectores y ganancia de antena

b. Lado de Propagación.

- Pérdidas por el espacio libre

c. Lado Receptor.

- Ganancia de antena, pérdidas en el cable y/o conectores y sensibilidad del receptor.

2.7.2 Parámetros de Performance de un enlace Microondas.

2.7.2.1 Nivel de Recepción.

Está dada por la potencia recibida en el receptor. Para calcular el nivel de recepción usamos la siguiente fórmula.

$$N_{rx} = P_{Tx} - P_{cTx} + G_{Tx} - L + G_{Rx} - P_{cRx} \dots\dots\dots \text{Ec. 1}$$

N_{rx} : Nivel de Recepción [dBm]

P_{Tx} : Potencia de Transmisor [dBm].

P_{cTx} : Pérdidas en el Cable y/o Conectores [dBm].

G_{Tx} : Ganancia de Antena [dBi].

L : Pérdidas en Espacio Libre [dB].

G_{Rx} : Ganancia de Antena del Receptor [dBi].

P_{cRx} : Pérdidas en el cable y/o conectores en el receptor [dBi]

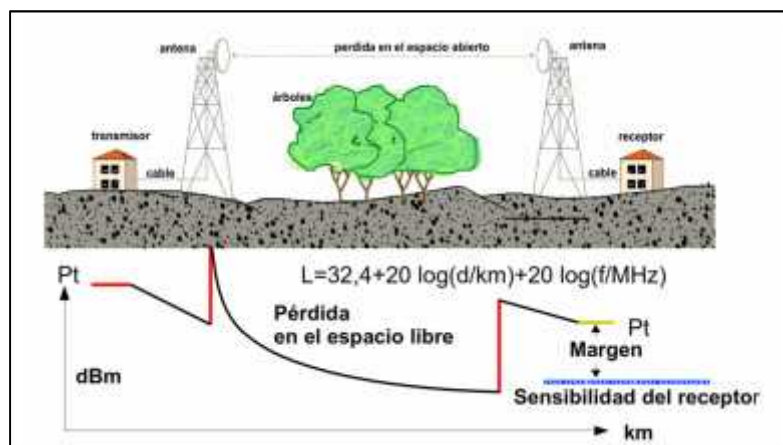


Figura 2.17. Pérdidas por Espacio Libre.

Fuente: <https://prezi.com/gv6iumlo8x2e/perdidas-basicas-de-propagacion/>.

La imagen 2.17 ilustra cómo se va degradando la potencia en el trayecto de su recorrido hasta llegar al receptor con el aumento de la distancia, debido a las pérdidas por el espacio libre que se expresa en dB y se obtiene con la siguiente formula:

$$L=32,4+20\log(d/\text{km})+20\log(f/\text{MHz}) \dots\dots\dots \text{Ec. 2}$$

Donde:

d: Distancia

f: Frecuencia

2.7.2.2 Bit Error Ratio (BER).

Traducida como “tasa de error de bit”. La figura 9 muestra que es el número de bits o bloques incorrectamente recibidos, con respecto al total de bits o bloques enviados durante un intervalo especificado de tiempo.

Unidad de medición: Adimensional.

$$\text{Definicion: } \frac{n^{\circ} \text{ bits erróneos}}{n^{\circ} \text{ de bits transmitidos}} \dots\dots\dots \text{Ec. 3}$$

2.7.2.3 Nivel de Threshold.

Es el umbral mínimo de potencia recibida por el receptor para ofrecer una buena calidad del enlace. El nivel de threshold se expresa en unidades de dBm.

2.7.2.4 Ruido

Para Manning (2009), se denomina ruido a toda señal no deseada que se presenta dentro de una transmisión y que interfiere con la señal útil real. Para poder calcular el ruido se usa la siguiente fórmula.

$$N=K*BW*T \dots\dots\dots \text{Ec. 4}$$

Donde:

K: constante de Boltzmann $1.381 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$

BW: ancho de banda Hz

T: temperatura °k

2.7.2.5 Margen de Desvanecimiento

Según Lehpamer (2010), el margen de desvanecimiento se calcula con la siguiente fórmula.

$$MD = N_{rx} - N_{th} \dots\dots\dots Ec. 5$$

Donde:

N_{rx} : Nivel de recepción [dBm].

N_{th} : Nivel de Threshold [dBm].

La imagen muestra al Margen de Desvanecimiento como la separación entre el Nivel de Recepción (rojo) y el Nivel de Threshold (azul)

Mientras el MD sea pequeño el riesgo de caer en el umbral mínimo de calidad (N_{Th}) es mucho mayor.

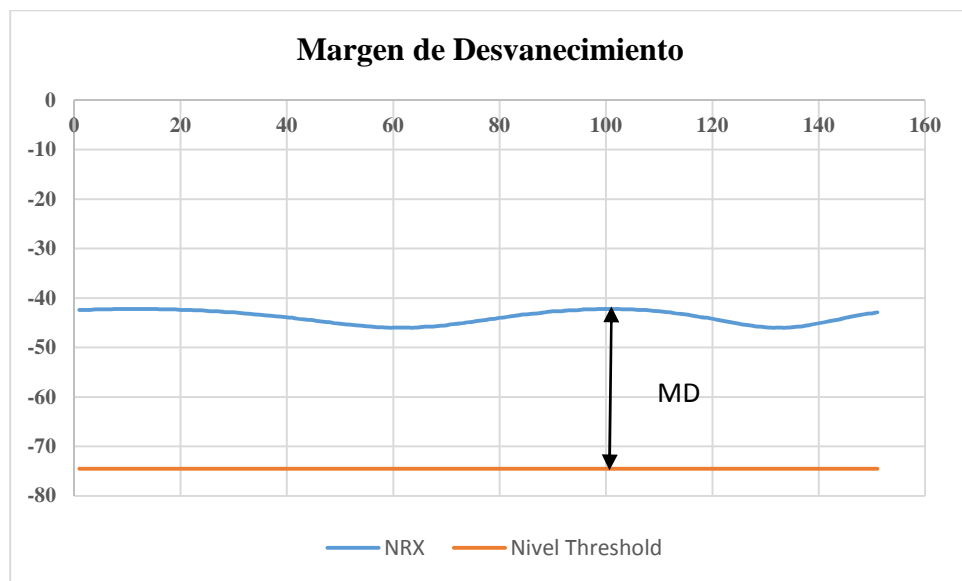


Figura 2.18: Margen de Desvanecimiento.

Fuente: Elaboración propia (2015).

2.7.2.6 Ancho de Banda.

Para Lehpamer (2010), en conexiones de datos es la cantidad de información que se puede enviar a través de una conexión de red en un periodo dado. El ancho de banda se indica generalmente en bits por segundo (bps), kilobits por segundo (Kbps) o megabits por segundo (Mbps).

2.7.2.7 Disponibilidad

Según Manning (2009), es la capacidad que un enlace tiene para poder estar disponible el mayor tiempo necesario sin que haya caídas de la red, se expresa en unidades de porcentaje. Para poder calcular la disponibilidad de un enlace microondas usamos la siguiente fórmula ITU-R:

$$D = [1 - a * b * [2.5 * 10^{-6} * f * d^3 * 10^{-FM/10}]] * 100 \dots\dots\dots \text{Ec. 6}$$

Donde:

a: Factor de Terreno

d: Longitud de Trayecto

b: Factor de Clima

FM: Margen de Desvanecimiento

f: Frecuencia

10^{-6}

2.7.2.8 Indisponibilidad

Es el inverso de la disponibilidad. Se expresa en unidades de seg/año. Para poder calcular la indisponibilidad usamos la siguiente ecuación ITU-R:

$$I = [1 - a * b * 2.5 * 10^{-6} * f * d^3 * 10^{-FM/10}] * 3600 * 24 * 365 \dots\dots\dots \text{Ec. 7}$$

2.7.2.9 E_b/N_0 (relación energía por bit / densidad espectral de potencia de ruido)

Para Lehpamer (2010), es un parámetro importante en comunicaciones digitales y transmisión de datos. Es una medida de la SNR (relación señal a ruido) normalizada. Es especialmente útil cuando se comparan los BER (bit error ratio) de distintos esquemas de modulación digitales, sin tener en cuenta el ancho de banda.

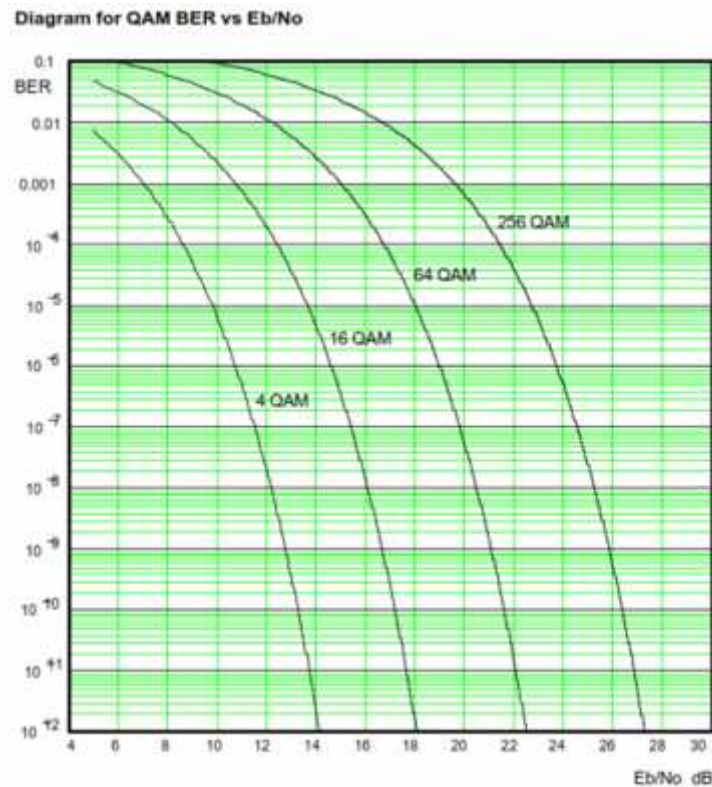


Figura 2.19. Tasa de Error Bit vs Eb/No.

Fuente: TREVOR, Manning (2009).

La figura 2.19 muestra la relación que existe entre las modulaciones digitales y el parámetro E_b/N_0 . Gracias a estas curvas nosotros podemos elegir una cierta modulación con un determinado BER y poder fijar nuestro parámetro E_b/N_0 , el cual será esencial para poder definir la calidad del enlace. Para poder calcular el E_b/N_0 se hace uso de la siguiente fórmula.

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right) = \left(\frac{C}{N}\right)_{dB} + 10 \log\left(\frac{B}{R}\right) \dots\dots\dots Ec. 8$$

Dónde:

C: Nivel de Recepción.

N: Ruido

2.8 Propagación de Microondas

En un enlace microondas, la señal de radio se lanza a la tropósfera, donde diferentes condiciones climáticas afectarían la trayectoria del camino y la absorción de la señal.

Como por ejemplo los cambios de clima en diferentes horas del día y los diferentes cambios de estaciones a lo largo del año.

2.8.1 Índice de refracción

El índice de refracción (n) es la relación de la velocidad de una onda electromagnética que viaja en el vacío (a veces llamado espacio libre) con relación a la velocidad que lo haría viajando en un medio finito según lo expresado por:

$$n = c_0/c \quad \text{..... Ec. 9}$$

Donde c_0 es la velocidad de la luz en el vacío y c es la velocidad de la onda (en este caso la señal de microondas) en el medio finito (aire en el caso de transmisión por el trayecto radioeléctrico).

Como el índice de refracción del aire es muy cercano a la unidad (1,0002926), la velocidad de la señal de microondas está muy cerca (99,97%) a la velocidad de la luz, por lo que para todos fines prácticos, puede considerarse que viaja a la velocidad de la luz sobre el camino.

2.8.2 Radio Refractividad

Según Manning (2009), el índice de refracción, en la atmósfera no ionizada en la que las ondas microondas de radio viajan, es siempre mayor que la unidad. Es una función de la densidad del aire (temperatura, presión y humedad) .Por lo general, es sólo una pequeña fracción mayor que la unidad, por ejemplo, 1.000315 (el índice de refracción promedio de tierra). La Radio refractividad N ha sido definido por los planificadores de radio para producir más convenientes valores, donde la refractividad radio (N) se define como:

$$N = (n - 1)10^6 \quad \text{..... Ec. 10}$$

Sustituyendo el valor para el índice de refracción de tierra ($n = 1,000315$) en (Ec.9) se obtiene un valor para N de 315 unidades N .

La radio refractividad para enlaces inferiores a 100 GHz se define como:

$$N = 77.6P/T + 3.732 \times 10^5 e/T^2 \dots\dots\dots \text{Ec. 11}$$

Donde P es la presión atmosférica en mbar, T es la temperatura absoluta en Grados Kelvin, y e es la presión parcial debida al vapor de agua en mbar.

El valor de N varía con la altitud ya que la presión, la temperatura y humedad varían con la altura. La presión y la humedad normalmente disminuyen exponencialmente con la altura. La Temperatura normalmente disminuye linealmente con la altitud en aproximadamente $-6^\circ / \text{km}$. La humedad y la temperatura hacen, sin embargo, cambiar en determinadas condiciones, dando como resultado variaciones de refractividad radio. En general, la atmósfera muestra una disminución exponencial de N con la altura. Como muestra la figura 2.20, el coeficiente de refractividad varia con la altura, a 0 msnm se tiene un $N_1=250$ mientras que a 1000 msnm se tiene un $N_2=275$

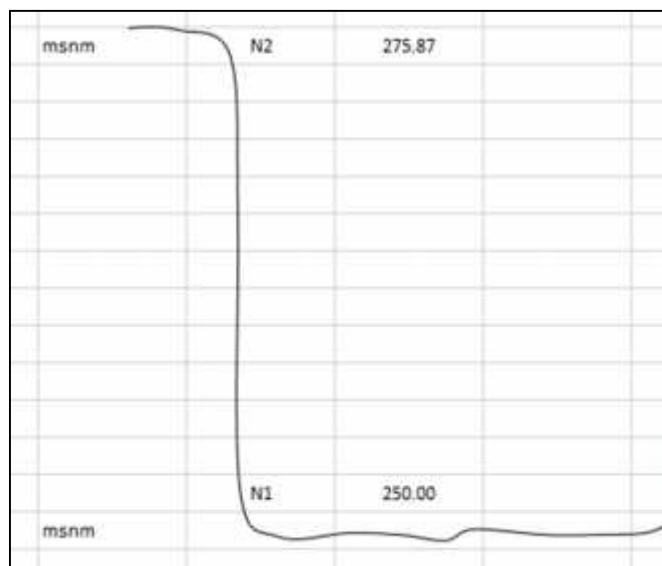


Figura 2.20. Coeficientes de Refractividad.

Fuente: Elaboración Propia (2015).

2.8.3 Gradiente de Refractividad (G) Factor K.

Para Manning (2009), el gradiente de refractividad se define como el cociente de la diferencia del coeficiente de refractividad (N) y la diferencia de altura:

$$G = dN / dh \dots\dots\dots \text{Ec. 12}$$

Bajo condiciones atmosféricas normales este valor es aproximadamente (-39 N unidades/Km), varia con el tiempo dando lugar a condiciones de propagación anómalas

2.8.4 Factor K.

Para Manning (2009), al momento de realizar un diseño de cobertura radio eléctrica, conviene trabajar con haces rectilíneos (curvatura cero). Esto puede conseguirse sustituyendo el radio de la tierra real, a, por otro equivalente, de radio ka, tal que podamos indicar el rayo por una línea recta:

$$a_{eq} = Ka \dots\dots\dots \text{Ec. 13}$$

Donde el factor k se define por la siguiente ecuación:

$$K = \frac{157}{157+G} \dots\dots\dots \text{Ec. 14}$$

a: Radio de la tierra 6.37×10^3 Km

G: Gradiente de Refractividad.

Consiguiendo así una curvatura de la tierra haciendo uso de la ecuación .Como ilustra la figura 2.21 se puede tener un equivalente de la curvatura de la tierra, haciendo variar el factor k.

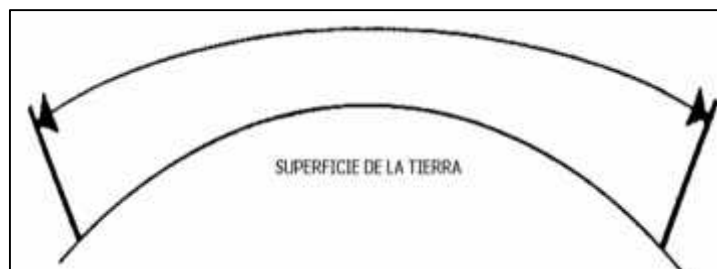


Figura 2.21. Curvatura de la Tierra K factor.

Fuente: TREVOR, Manning (2009).

Tanto el gradiente de refractividad (G) como el factor k en ciertos rangos de valores, indican condiciones anómalas o normales de propagación del rayo

microondas. La figura 2.22 muestra la relación que guarda el factor k y el gradiente de refractividad, ambos indican cierto tipo de condiciones de propagación del rayo. Asimismo muestran cuatro zonas de propagación, siendo la zona 2 con $K=4/3$ para un $G=-39$ los valores normales de propagación en el cual el rayo se curva hasta llegar al receptor, mientras que en las demás zonas como por ejemplo en la zona 1 la trayectoria del rayo esta dibujada por debajo de la tierra (Sub-Refractivo), en la zona 4 cuando el $k=$ para un $G=-157$ el sistema es inestable (Ducting) y con $k=3$ para un $G=-100$ el rayo llega un poco más lejos del receptor (Super refractivo).

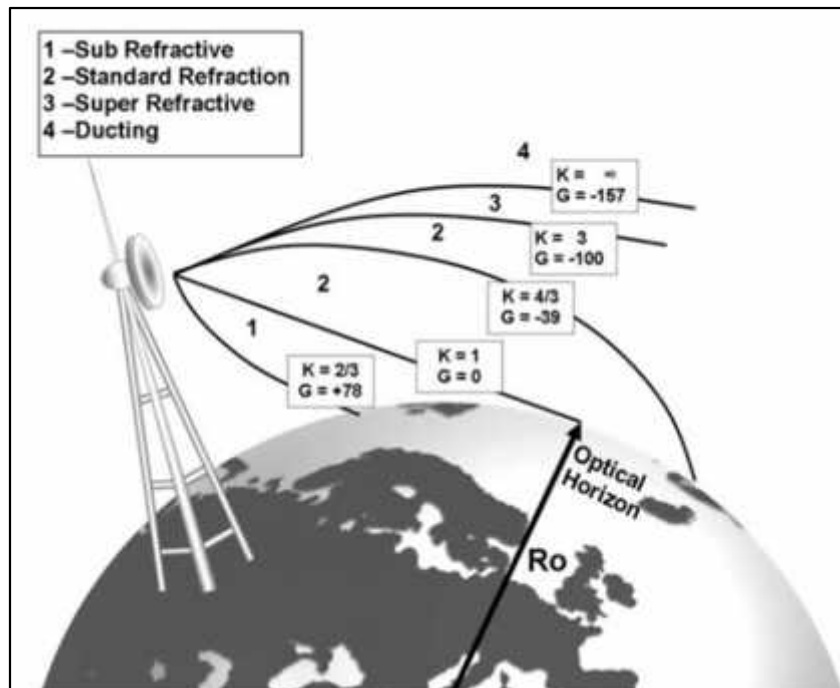


Figura 2.22. Curvatura de la Tierra K factor.

Fuente: TREVOR, Manning (2009).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y

PROCEDIMIENTOS

3.1. Materiales

3.1.1. Población y Muestra

La población está constituida por los posibles valores de parámetros de performance a nivel radio resultantes al variar las condiciones climáticas de propagación mediante la herramienta de simulación Radiomobile.

La herramienta RadioMobile permite variar el parámetro climático entre 151 valores, para cada uno de estos valores climáticos de propagación se han evaluado 6 parámetros de performance a nivel radio, con lo cual se tienen 906 valores por cada enlace.

Considerando que se evalúa una modulación fija para el enlace radio SDH, y 5 modulaciones adaptativas para el enlace Packet Microwave, se han evaluado en total 5436 valores de performance, los cuales constituyen nuestra población y muestra.

3.1.2. Unidad de Análisis

Variación de los parámetros de performance a nivel radio en el enlace dorsal de la Red Microondas SDH Claro Perú S.A.C Trujillo – Ragache perteneciente al Departamento de La Libertad.

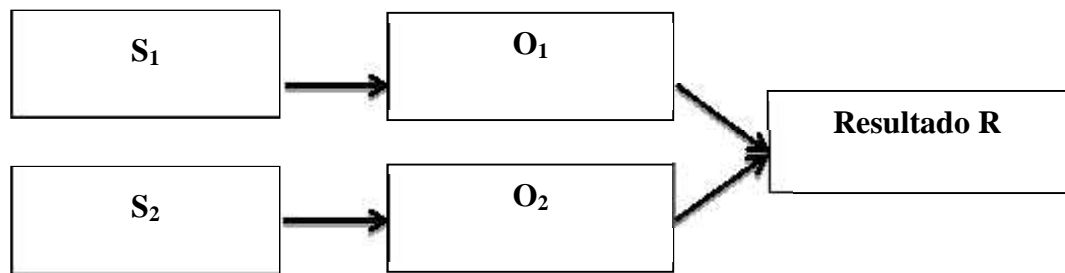
3.2. Métodos

3.2.1. Tipo de Investigación

La investigación planteada para el presente trabajo de tesis será por medio del método analítico comparativo. Se registrarán las especificaciones de los parámetros de performance a nivel radio, respecto al actual sistema de transporte SDH del tramo Ragache-Trujillo del operador Claro Perú S.A.C., que servirán como base de datos para realizar el estudio comparativo. También se registrarán las especificaciones de los parámetros de performance a nivel radio, de un sistema de transporte basado en tecnología Packet Microwave, que sirva de base de datos de la contraparte, para la comparación respectiva.

3.2.2. Diseño de la Investigación

Para la metodología, se empleará la siguiente estructura:



S1 : Sistemas de transporte Packet Microwave en el tramo Trujillo-Ragache del operador CLARO-PERU S.A.C.

S2 : Sistemas de transporte SDH en el tramo Trujillo-Ragache del operador CLARO- PERU S.A.C.

O1 : Parámetros a nivel radio del Sistemas de Radio Packet Microwave.

O2 : Parámetros a nivel del Sistema de Radio SDH actual.

R : Comparativa de los Sistemas de transporte Packet Microwave y SDH a nivel radio.

3.2.3. Variables de Estudio y Operacionalización

Variable Independiente:

a. Equipamiento basado en Tecnología Packet Microwave

Indicadores:

- Potencia de Transmisión
- Umbral de Calidad de Recepción
- Perdidas Internas
- Pérdidas Ltx
- Ganancia Antenas
- Capacidad Enlace

Variable Dependiente:

b. Performance a nivel de radio del enlace de transporte Trujillo - Ragache del Operador Claro.

Indicadores:

- Nivel de Recepción.
- Margen de Desvanecimiento.
- Disponibilidad.
- Indisponibilidad.
- Capacidad.
- BER

a. Variable Independiente.

Tabla 3.1 Operacionalización de la Variable Independiente

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADOR	INSTRUMENTO	FORMULA	UNIDAD DE MEDIDA
Equipamiento basado en Tecnología Packet Microwave.	Conjunto de dispositivos a nivel físico, de protocolos y aplicaciones que permiten establecer un enlace de comunicaciones entre Trujillo-Ragache.	Está definida a la parte de radiofrecuencia, lo cual está conformado por un equipo transmisor que tiene una cierta potencia de transmisión, esta potencia es acoplada a las antenas a través de una guía de onda con ciertos conectores, los cuales generan pérdidas, Las antenas tienen una cierta ganancia que hace posible que la señal salga irradiada al espacio para así llegar al extremo distante, donde la potencia recibida, en base al nivel de calidad que se tiene, definirá si el enlace es aceptable o no a una cierta capacidad de datos.	Potencia de Transmisión	Hoja Especificaciones Técnicas	.....	dBm
			Umbral de Calidad de Recepción	Hoja Especificaciones Técnicas	.....	dBm
			Pérdidas Internas	Hoja Especificaciones Técnicas	.....	dB
			Pérdidas Ltx	Hoja Especificaciones Técnicas	.....	dB
			Ganancia Antenas	Hoja Especificaciones Técnicas	.....	dBi
			Capacidad	Hoja Especificaciones Técnicas	.....	Mbps

Fuente: Elaboración Propia (2015)

b. Variable Dependiente.

Tabla 3.2 Operacionalización de la Variable Dependiente

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADOR	INSTRUMENTO	FORMULA	UNIDAD DE MEDIDA
La performance de la red de transporte a nivel de radio en el tramo Trujillo-Ragache del Operador Claro.	Performance hace referencia a rendimiento y la calidad del enlace en sus diferentes parámetros a nivel de radio.	La performance a nivel de radio asociados a las redes de transporte SDH y Packet Microwave, permitiendo realizar una comparativa de 6 parámetros a nivel de radio que serán evaluados: nivel de recepción, margen de desvanecimiento, disponibilidad, indisponibilidad, capacidad y BER.	Nivel de Recepción	Estimación Analítica, Simulación	Ec.1	dBm
			Margen de Desvanecimiento	Estimación Analítica	Ec. 5	dB
			Disponibilidad	Estimación Analítica	Ec. 6	%
			Indisponibilidad	Estimación Analítica	Ec. 7	Seg/Año
			Capacidad	Hoja Especificaciones Técnicas	.....	Mbps
			BER	Estimación Analítica	Ec.3	.....

Fuente: Elaboración Propia (2015)

3.2.4. Instrumentos de Recolección de Datos

3.2.4.1. Guía de entrevista con el personal del área de ingeniería de la Sede Principal Claro Trujillo.

Se realizaron una cierta cantidad de preguntas para conocer que tecnologías siguen vigentes en los enlaces de transporte vía microondas en la región La Libertad empleados por el Operador Claro-Perú S.A.C. Gracias a ello se pudo estar informado sobre la red Dorsal Microondas SDH Trujillo-Cajamarca y los saltos radioeléctricos que se deben realizar para su recorrido. Además se nos hizo llegar un documento sobre uno de estos saltos que le corresponde a la red de transporte Trujillo-Ragache (Anexo N° 4). También se nos dio información sobre las antenas y la altura donde ellas se encuentran en la ciudad de Trujillo y en el cerro Ragache (Aproximadamente 40 a 30m). Así mismo se pudo informarnos sobre el crecimiento en la demanda de servicios de datos en los últimos años (2010-2014). Ver anexo N° 01 y 02

3.2.4.2. Guía de entrevista con el personal Network Operation Center Claro-Trujillo.

Se realizaron una cierta cantidad de preguntas para tener una perspectiva de las desventajas que presentan los sistemas SDH actualmente frente al transporte de datos. Ver anexo N°03

3.2.4.3. Plano de la arquitectura de la red en el tramo Trujillo-Ragache del operador Claro-Perú S.A.C.

Es un plano que muestra la arquitectura y topología de uno de los saltos radioeléctricos, que se deben de realizar para interconectar a la ciudad de Trujillo-Cajamarca, en el cual se puede observar que el enlace principal Trujillo-Ragache se mantiene operando con tecnología SDH, empleando multiplexores los que operan con técnicas TDM para el transporte de voz y de datos. Asimismo muestra la implementación de tecnología Packet Microwave en el enlace microondas que interconecta Trujillo con la parte sierra Libertense. Para información con mayor detalle del plano se puede ver el anexo N°4.

3.2.4.4.Extracto de hoja de características técnicas de los equipos de la red Claro, en el tramo Trujillo-Ragache.

a. Alcatel-Lucent 9600 LSY Long-Haul Digital Radio Links.

Equipo microondas que soporta tecnología SDH, el cual esta implementado en el enlace principal de la red de transporte Trujillo-Ragache. La figura 3.1 muestra un extracto de la hoja de características técnicas de los equipos 9600LSY, los cuales se escogen de acuerdo a la banda de frecuencia que se trabaje, también muestra algunos parámetros de performance a nivel de radio tales como: potencia de transmisión, nivel de trheshold, BER y modulación. Para ver más a detalle las características técnicas ver anexo N°5.

El equipo empleado por la operadora Claro es el 9667 LSY con una modulación fija de 64QAM.

RADIO SYSTEM	9644 LSY	9647 LSY	9662 LSY	9667 LSY	9674 LSY	9681 LSY	9610 LSY	9615 LSY	9618 LSY
RF Freq. Band (GHz)	3.6-4.2	4.4-5.0	5.9-6.4	6.4-7.1	7.1-7.7	7.7-8.3	10.0-10.7	10.7-11.7	12.75-13.25
RF Channel Arrangements (ITU-R)	3.6-4.2 F.635	F.1099 F.382	F.383	F.384	F.385	F.386	—	F.387	F.487
RF Channel Spacing (MHz)									
STM-1	28/29/40	28/40	29.65	40	28	28/29.65	28	40	28
STM-0	—	—	—	—	14	14	—	—	14
Transmission Capacity (Per RF Channel)	1 x STM-1 or 2 x STM-1	1 x STM-1 or 2 x STM-1	1 x STM-1 or 2 x STM-1	1 x STM-1 or 2 x STM-1	1 x STM-1 or 2 x STM-1	1 x STM-1 or 2 x STM-1	1 x STM-1 or 2 x STM-1	1 x STM-1 or 2 x STM-1	1 x STM-1 or 2 x STM-1
					1 x STM-0	1 x STM-0			1 x STM-0
Modulation	128/64 QAM								
Demodulation	Coherent								
Adaptive Equalizer	19 TAPS								
Spectrum Shaping	Raised Cosine								
Coding Type	MLC								
Frequency Reuse	YES								
Transmitted Power (°)									
ATPC (Max.) (dBm)	32	32	32	32	32	32	30	30	28
ATPC Range (dB)	17	17	17	17	17	17	15	15	13
AGC Dynamic Range (dB)	60								
Receiver Threshold STM/128 QAM @ BER = 1x10 ⁻³ (**) (dBm)	-73	-73	-73	-73	-72.5	-72.5	-72.5	-72.5	-72
Receiver Threshold STM/128 QAM @ BER = 1x10 ⁻⁶ (**) (dBm)	-71	-71	-71	-71	-70.5	-70.5	-70.5	-70.5	-70
Receiver Threshold STM/64 QAM @ BER = 1x10 ⁻³ (**) (dBm)	-76.7	-76.7	—	-76.5	—	—	—	-76	—
Receiver Threshold STM/64 QAM @ BER = 1x10 ⁻⁶ (**) (dBm)	-74.9	-74.9	—	-74.7	—	—	—	-74.2	—

Figura 3.1. Extracto de Características Técnicas 9662LSY.

Fuente: Elaboración Propia (2015).

b. **Alcatel-Lucent 9500 Microwave Packet Radio.**

Equipo microondas que soporta tecnología Packet Microwave, el cual esta implementado en el enlace secundario en la parte de la Sierra Liberteña. La imagen 3.2 muestra un extracto de la hoja de características técnicas del equipo 9500 MPR, así como la banda escogida (6GHz), con sus respectivas modulaciones adaptativas. Asimismo muestra sus niveles de transmisión de potencia como también las 5 capacidades soportadas. Para ver a detalle las especificaciones técnicas ver anexo N°6.

MPR-HL SYSTEM GAIN (dB)	CS (MHz)	5.8 GHz	6.8/7.8 GHz STANDARD POWER	6.8/7.8 GHz HIGH POWER	7.8 GHz	10.5 GHz	11 GHz	LAYER 2 RADIO CAPACITY (Mb/s)
32 QAM	5	-	-	-	117.0	-	113.5	18.3
128 QAM		110.0	110.0	112.0	110.0	106.5	106.5	25.8
32 QAM	10	114.0	-	-	114.0	-	110.5	37.3
128 QAM		107.0	107.0	109.0	107.0	-	103.5	52.6
4 QAM	30	117.5	117.5	119.5	118.0	-	114.5	44.9
16 QAM		111.5	111.5	113.5	112.0	-	106.5	90.9
32 QAM		109.5	-	-	109.5	-	106.0	114.2
64 QAM		104.5	104.5	106.5	105.0	-	101.5	136.9
128 QAM		102.0	102.0	104.0	102.0	-	98.5	160.2
256 QAM		95.5	95.5	97.5	95.5	-	92.0	183.3
128 QAM	40	-	-	-	-	-	97.5	213.9
256 QAM		-	-	-	-	-	91.0	245.2

Figura 3.2. Extracto de Características Técnicas 9662LSY.

Fuente: Elaboración Propia (2015).

c. **HPX8-59-D1A.**

Antena empleada para la transición a distancia en la red de transporte Trujillo-Ragache del operador Claro-Perú S.A.C. La figura 3.3 muestra la frecuencia de operación, beamwidth 1,4° óptimo para ser empleado en un radioenlace punto a punto, ganancia de antena y demás parámetros técnicos. Para ver a detalle la hoja de especificaciones técnicas ver anexo N°7.

Operating Frequency Band	5.925 – 6.425 GHz
Beamwidth, Horizontal	1.4 °
Beamwidth, Vertical	1.4 °
Cross Polarization Discrimination (XPD)	30 dB
Electrical Compliance	ETSI Class 3 | US FCC Part 101A
Front-to-Back Ratio	69 dB
Gain, Low Band	40.9 dBi
Gain, Mid Band	41.3 dBi
Gain, Top Band	41.6 dBi
Operating Frequency Band	5.925 – 6.425 GHz
Radiation Pattern Envelope Reference (RPE)	2678E
Return Loss	30.7 dB
VSWR	1.06

Figura 3.3. Extracto de Características Técnicas 9662LSY.

Fuente: Elaboración Propia (2015).

- d. **EWP52** .Es el cable guía de onda empleado para interconectar al equipo 9500MPR con la antena HPX8-59-D1A.La imagen 3.4 muestra las perdidas en dB por cada 100m, de acuerdo a la frecuencia escogida. Para ver la hoja de especificaciones técnicas a detalle ver anexo N°8.

Frequency GHz	Attenuation dB/100 ft (dB/100 m)	Average Power Rating, kW	Group Velocity of Propagation, %
4.6	1.63 (5.34)	4.40	80.9
4.8	1.50 (4.92)	4.75	84.9
5.0	1.41 (4.63)	5.06	88.3
5.2	1.35 (4.42)	5.31	91.2
5.4	1.30 (4.26)	5.51	93.7
5.6	1.26 (4.13)	5.69	95.8
5.8	1.23 (4.02)	5.84	97.7
5.85	1.22 (4.00)	5.87	98.1
5.925	1.21 (3.96)	5.92	98.8
6.0	1.20 (3.93)	5.96	99.4
6.2	1.18 (3.86)	6.07	80.6
6.4	1.16 (3.80)	6.17	82.1
6.425	1.16 (3.80)	6.18	83.2

Figura 3.4. Extracto de Características Técnicas 9662LSY.

Fuente: Elaboración Propia (2015).

3.2.5. Procedimientos y análisis de datos

Se utilizó el simulador Radio Mobile para el procesamiento y análisis de la información.

Radio Mobile es una herramienta de software que permite simular radioenlaces. Provee de un gran rango de frecuencias (20MHz a 20GHz). Usa un modelo topográfico digital que entrega la elevación del terreno y en base a ello pude

calcular enlaces virtuales, considerando parámetros como la ganancia, pérdidas en el espacio, zonas de Fresnel, altura de las antenas, entre otros.

a. Simulación del radioenlace en el tramo dorsal Trujillo-Ragache, utilizando los parámetros técnicos a nivel de radio del equipamiento SDH.

Como muestra la figura 3.5 se ingresaron las coordenadas de ubicación tanto de Trujillo como de Ragache al simulador Radio Mobile.

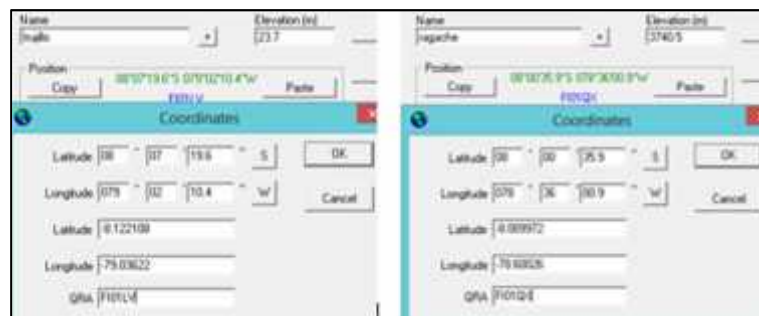


Figura 3.5. Coordenadas de Ubicación Trujillo-Ragache RM.

Fuente: Elaboración Propia (2015).

Para la simulación del radioenlace se empleó un ancho de banda de 40 MHz y se trabajó en la banda de 6GHz, en base a este criterio se seleccionó el equipo 9667 LSY.

Para el desarrollo de la simulación se empleó la modulación 64QAM, la cual es usada por el operador Claro-Perú en el tramo dorsal Trujillo-Ragache para sus transmisiones, empleando una Tasa de Error de Bit (BER) 10^{-6} . Asimismo la hoja de características técnicas nos da a conocer la potencia de transmisión y nivel threshold que se requieren para operar con la modulación 64QAM. También se ingresó al simulador la ganancia de la antena HPX8-59-D1A con sus respectivas pérdidas originadas por el cable guía de onda EWP52.

La imagen 3.6 muestra los parámetros ingresados al simulador Radio Mobile del equipamiento SDH: potencia de transmisión y nivel de threshold del equipo 9667 LSY, pérdidas por cable, ganancia de antena y pérdidas adicionales por cable.

Figura 3.6. Coordenadas de Ubicación Trujillo-Ragache RM.

Fuente: Elaboración Propia (2015)

Se utilizó una portadora para transmisión de datos de 6540 MHz. La figura 3.7 muestra la primera simulación realizada con un coeficiente de refractividad 250.

Figura 3.7. Parámetros de Simulación de Clima Trujillo-Ragache RM.

Fuente: Elaboración Propia (2015).

Se culminó de esta forma la primera simulación del enlace microondas, obteniendo así el primer parámetro Nivel de Recepción -43.4dBm como

muestra la figura 3.8 evaluado con un coeficiente de refractividad de 250. Asimismo nos da a conocer la distancia (49.56Km) y las perdidas por espacio libre entre Tujillo-Ragache siendo fundamental para el análisis de algunos parámetros de performance de la red dorsal.

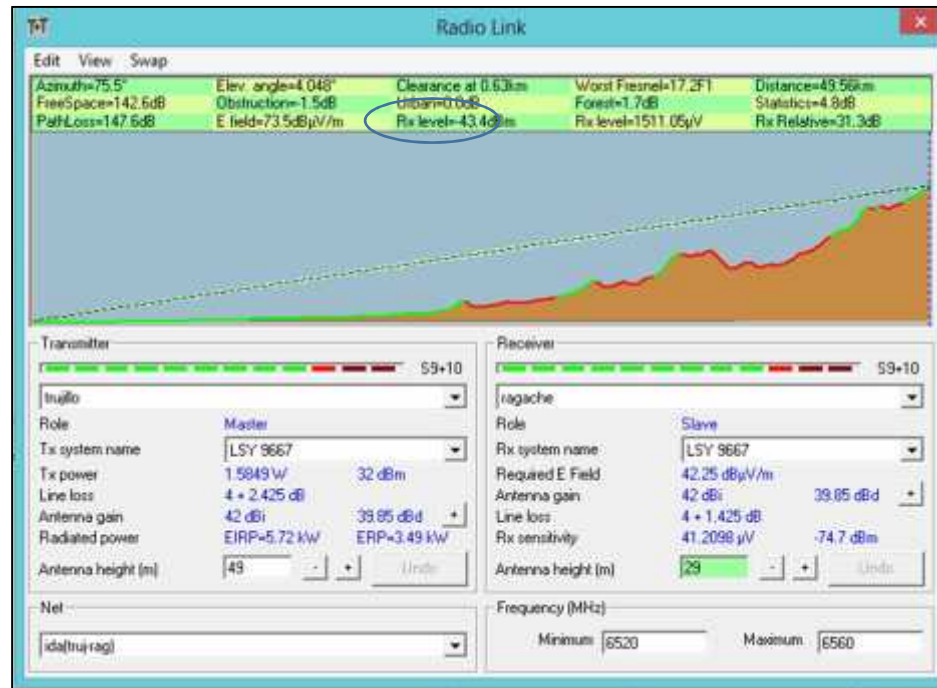


Figura 3.8. Nivel de Recepción con N=250 software Radio Mobile.

Fuente: Elaboración Propia (2015).

Como muestra la tabla 3.3 se culminó con la primera simulación del tramo Trujillo-Ragache, con tecnología SDH, evaluado con un coeficiente de refractividad 250.

Tabla 3.3 Primera Simulación con Coeficiente de Refractividad 250.

ÍNDICE REFRATIVIDAD	POTENCIA DE TRANSMISIÓN 9667 LSY	NIVEL DE THRESHOLD	MODULACIÓN	BER	CAPACIDAD
250	32dBm	-74.7dBm	64QAM	10 ⁻⁶	STM-1= 155.56 Mbps

Fuente: Elaboración Propia (2015).

Para culminar con las simulaciones del enlace dorsal Trujillo-Ragache bajo diferentes condiciones climáticas, se realizaron 151 simulaciones haciendo variar en un rango de 250 a 400 el coeficiente de refractividad (N). Obteniendo de esta manera 151 niveles de recepción, en base a estos resultados se pudo obtener mediante un cálculo con la ecuación N°5⁶ los márgenes de desvanecimiento (MD), con la Ecuación N°6⁷ la disponibilidad y finalmente con la Ecuación N°7⁸ la indisponibilidad. La figura 3.9 muestra los resultados obtenidos de los 6 parámetros de performance a nivel de radio evaluados en el enlace microondas Trujillo-Ragache empleando tecnología SDH. Ver anexo N°9 para tabla completa.

⁶ Capítulo II Parámetros de Performance de un Enlace Microondas Pag. 38

⁷ Capítulo II Parámetros de Performance de un Enlace Microondas Pag. 39

⁸ Capítulo II Parámetros de Performance de un Enlace Microondas Pag. 39

250	1	-43.4	31.3	99.99999	362.79	155.52	0.000001
251	2	-43.4	31.3	99.99999	362.79	155.52	0.000001
252	3	-43.4	31.3	99.99999	362.79	155.52	0.000001
253	4	-43.3	31.4	99.99999	354.53	155.52	0.000001
254	5	-43.3	31.4	99.99999	354.53	155.52	0.000001
255	6	-43.3	31.4	99.99999	354.53	155.52	0.000001
256	7	-43.3	31.4	99.99999	354.53	155.52	0.000001
257	8	-43.2	31.5	99.99999	346.46	155.52	0.000001
258	9	-43.2	31.5	99.99999	346.46	155.52	0.000001
259	10	-43.2	31.5	99.99999	346.46	155.52	0.000001
260	11	-43.2	31.5	99.99999	346.46	155.52	0.000001
271	22	-43.4	31.3	99.99999	362.79	155.52	0.000001
272	23	-43.5	31.2	99.99999	371.24	155.52	0.000001
273	24	-43.5	31.2	99.99999	371.24	155.52	0.000001
274	25	-43.6	31.1	99.99999	379.89	155.52	0.000001
275	26	-43.7	31	99.99999	388.74	155.52	0.000001
276	27	-43.7	31	99.99999	388.74	155.52	0.000001
277	28	-43.8	30.9	99.99997	397.79	155.52	0.000001
278	29	-43.9	30.8	99.99997	407.06	155.52	0.000001
293	44	-45.4	29.3	99.99992	574.98	155.52	0.000001
294	45	-45.5	29.2	99.99991	588.38	155.52	0.000001
296	47	-45.8	28.9	99.9999	630.46	155.52	0.000001
297	48	-45.9	28.8	99.9999	645.14	155.52	0.000001
298	49	-46.1	28.6	99.99978	675.55	155.52	0.000001
299	50	-46.2	28.5	99.99978	691.28	155.52	0.000001
300	51	-46.3	28.4	99.99978	707.38	155.52	0.000001
301	52	-46.4	28.3	99.99977	723.86	155.52	0.000001
302	53	-46.5	28.2	99.99977	740.72	155.52	0.000001
303	54	-46.6	28.1	99.99976	757.97	155.52	0.000001
304	55	-46.7	28	99.99975	775.63	155.52	0.000001
305	56	-46.8	27.9	99.99975	793.7	155.52	0.000001
306	57	-46.9	27.8	99.99974	812.18	155.52	0.000001
307	58	-46.9	27.8	99.99974	812.18	155.52	0.000001
308	59	-47	27.7	99.99974	831.1	155.52	0.000001
319	70	-46.5	28.2	99.99977	740.72	155.52	0.000001
320	71	-46.3	28.4	99.99978	707.38	155.52	0.000001
321	72	-46.2	28.5	99.99978	691.28	155.52	0.000001
322	73	-46.1	28.6	99.99979	675.55	155.52	0.000001
323	74	-45.9	28.8	99.9998	645.14	155.52	0.000001
324	75	-45.8	28.9	99.9998	630.46	155.52	0.000001
325	76	-45.6	29.1	99.99981	602.08	155.52	0.000001
326	77	-45.5	29.2	99.99981	588.38	155.52	0.000001
327	78	-45.3	29.4	99.99982	561.89	155.52	0.000001
328	79	-45.2	29.5	99.99983	540.1	155.52	0.000001
329	80	-45	29.7	99.99983	524.39	155.52	0.000001
330	81	-44.9	29.8	99.99984	512.45	155.52	0.000001
331	82	-44.7	30	99.99984	489.39	155.52	0.000001
332	83	-44.6	30.1	99.99985	478.25	155.52	0.000001
333	84	-44.4	30.3	99.99986	456.72	155.52	0.000001
334	85	-43.3	30.4	99.99986	446.33	155.52	0.000001
346	97	-43.3	31.4	99.99989	354.53	155.52	0.000001
347	98	-43.3	31.4	99.99989	354.53	155.52	0.000001
348	99	-43.2	31.5	99.99989	346.46	155.52	0.000001
390	141	-45.9	28.8	99.9998	645.14	155.52	0.000001
391	142	-45.7	29	99.9998	616.1	155.52	0.000001
392	143	-45.5	29.2	99.99981	588.38	155.52	0.000001
393	144	-45.3	29.4	99.99982	61.89	155.52	0.000001
394	145	-45	29.7	99.99983	524.39	155.52	0.000001
395	146	-44.8	29.9	99.99984	500.79	155.52	0.000001
396	147	-44.6	30.1	99.99985	478.25	155.52	0.000001
397	148	-44.4	30.3	99.99986	456.72	155.52	0.000001
398	149	-44.2	30.5	99.99986	436.37	155.52	0.000001
399	150	-44.1	30.6	99.99986	426.24	155.52	0.000001
400	151	-43.9	30.8	99.99987	407.06	155.52	0.000001

Figura 3.9. Extracto de Tablas de Evaluación de Parámetros Radio SDH (64QAM)

Fuente: Elaboración Propia (2015).

b. Simulación del radioenlace en el tramo dorsal Trujillo-Ragache, utilizando los parámetros técnicos a nivel de radio con el equipamiento Packet Microwave.

Al igual como se simuló el enlace dorsal Trujillo-Ragache con tecnología SDH, se prosiguió a simular el enlace dorsal con tecnología Packet Microwave.

Se ingresó al simulador Radio Mobile las especificaciones requeridas por cada una de las cinco modulaciones adaptativas del equipo 9500 MPR. La tabla 3.4 muestra la banda de operación escogida para realizar las simulaciones, como también alguno de sus parámetros de performance a nivel de radio del equipo con sus respectivas modulaciones adaptativas.

Tabla 3.4. Parámetros Radio del Equipo 9500MPR

Modulación	Banda de operación. (GHz)	Potencia de transmisión del equipo. (dBm)	Nivel de Trheshold. (dBm)	Capacidad. (Mbps)
4QAM	6	32	32-117.5= -85.5	114.5
16QAM	6	32	32-111.5= -79.5	108.5
64QAM	6	31	31-104.5= -73.5	136
128QAM	6	31	31-102= -71	160.2
256QAM	6	28	28-95.5= -67.5	183.3

Fuente: Elaboración Propia (2015).

Se simuló en Radio Mobile cinco enlaces dorsales empleando para ello cinco modulaciones distintas, haciendo variar el coeficiente de refractividad N en un rango de 250 a 400 para observar el comportamiento del enlace dorsal en distintos escenarios de clima. Imagen 3.10 muestra 755 valores de Nivel de Recepción obtenidos en el simulador para cada modulación adaptativa bajo diferentes condiciones de operación. Ver anexo N°10 para tabla completa

PKT	PKT	PKT	PKT	PKT	PKT	PKT
2503 5	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2504 6	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2505 7	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2506 8	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2507 9	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2508 10	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2509 11	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2510 12	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2511 13	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2512 14	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2513 15	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2514 16	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2515 17	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2516 18	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2517 19	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2518 20	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2519 21	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2520 22	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2521 23	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2522 24	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2523 25	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2524 26	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2525 27	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2526 28	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2527 29	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2528 30	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2529 31	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2530 32	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2531 33	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2532 34	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2533 35	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2534 36	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2535 37	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2536 38	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2537 39	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2538 40	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2539 41	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2540 42	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2541 43	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2542 44	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2543 45	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2544 46	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2545 47	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2546 48	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2547 49	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2548 50	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2549 51	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2550 52	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2551 53	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2552 54	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2553 55	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2554 56	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2555 57	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2556 58	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2557 59	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2558 60	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2559 61	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2560 62	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2561 63	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2562 64	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2563 65	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2564 66	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2565 67	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2566 68	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2567 69	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2568 70	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2569 71	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2570 72	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2571 73	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2572 74	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2573 75	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2574 76	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2575 77	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2576 78	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2577 79	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2578 80	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2579 81	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2580 82	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2581 83	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2582 84	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2583 85	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2584 86	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2585 87	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2586 88	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2587 89	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2588 90	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2589 91	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2590 92	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2591 93	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2592 94	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2593 95	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2594 96	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2595 97	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2596 98	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2597 99	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2598 100	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2599 101	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2600 102	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2601 103	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2602 104	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2603 105	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2604 106	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2605 107	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2606 108	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2607 109	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2608 110	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2609 111	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2610 112	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2611 113	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2612 114	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2613 115	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2614 116	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2615 117	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2616 118	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2617 119	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2618 120	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2619 121	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2620 122	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2621 123	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2622 124	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2623 125	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2624 126	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2625 127	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2626 128	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2627 129	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2628 130	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2629 131	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2630 132	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2631 133	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2632 134	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2633 135	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2634 136	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2635 137	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2636 138	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2637 139	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2638 140	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2639 141	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2640 142	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2641 143	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2642 144	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2643 145	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2644 146	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2645 147	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2646 148	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2647 149	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2648 150	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
2649 151	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4

Figura 3.10. Extracto de Tablas de Evaluación de Nivel de Recepción Packet Microwave.

Fuente: Elaboración Propia (2015).

Se realizaron los cálculos del Margen de Desvanecimiento haciendo uso de la Ecuación N° 5⁹ bajo diferentes climas de operación, que es posible por la variación del coeficiente de refractividad (N). La imagen 3.11 muestra 755 valores del

⁹ Capitulo II Parámetros de Performance de un Enlace Microondas Pag. 38

Margen de Desvanecimiento calculados para cada modulación. Ver anexo N°11 para tabla completa.

**Figura 3.11. Extracto de Tablas de Evaluación de Margen de Desvanecimiento
.Packet Microwave.**

Fuente: Elaboración Propia (2015).

Se hizo un cálculo de disponibilidad del enlace empleando la Ecuación 6¹⁰. La figura 3.12 muestra 755 valores de indisponibilidad, los cuales fueron obtenidos en diferentes climas de operación variando el coeficiente de refractividad (N) para cada modulación del equipo Packet Microwave. Ver anexo N°12 para tabla completa.

¹⁰ Capítulo II Parámetros de Performance de un Enlace Microondas Pag. 39

Figura 3.12. Extracto de Tablas de Evaluación de Disponibilidad Packet Microwave.

Mod.	QAM	C (Packet/s)	C (Packet/s)	C (Packet/s)	C (Packet/s)	C (Packet/s)
256Q	1	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	2	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	3	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	4	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	5	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	6	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	7	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	8	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	9	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	10	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	11	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	12	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	13	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	14	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	15	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	16	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	17	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	18	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	19	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	20	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	21	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	22	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	23	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	24	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	25	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	26	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	27	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	28	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	29	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	30	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	31	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	32	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	33	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	34	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	35	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	36	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	37	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	38	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	39	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	40	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	41	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	42	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	43	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	44	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	45	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	46	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	47	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	48	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	49	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	50	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	51	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	52	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	53	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	54	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	55	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	56	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	57	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	58	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	59	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	60	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	61	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	62	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	63	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	64	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	65	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	66	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	67	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	68	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	69	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	70	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	71	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	72	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	73	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	74	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	75	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	76	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	77	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	78	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	79	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	80	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	81	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	82	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	83	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	84	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	85	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	86	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	87	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	88	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	89	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	90	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	91	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	92	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	93	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	94	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	95	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	96	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	97	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	98	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	99	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3
256Q	100	1.00E-3	1.00E-2	1.00E-3	1.00E-3	1.00E-3

Figura 3.14. Extracto de Tablas de Evaluación de Capacidad Packet Microwave.

Fuente: Elaboración Propia (2015).

Para poder seleccionar el BER se hizo un cálculo del ruido haciendo uso de la ecuación de ruido térmico de Boltzman (Ecuación N°4)¹¹ obteniendo un N=-98dBm. Además se hizo un cálculo del mínimo nivel de recepción

Nrx=-49dBm (Ecuación N°8)¹² obteniendo un C/N = 48dB. Finalmente se emplearon las curvas teóricas BER vs E_b/N_0 las cuales muestran cómo se relaciona el orden de la modulación, con la tasa de error de bit. Para las cinco modulaciones empleadas 4QAM, 16QAM, 64QAM, 128QAM Y 256QAM se obtuvo una mínima separación $E_b/N_0 = 24$ dB que es el límite que permite evaluar las curvas teóricas mostradas. Es por ello que ninguna modulación llega a sobrepasar la tasa de error $BER=10^{-6}$.

¹¹ Capítulo II Parámetros de Performance de un Enlace Microondas Pag. 37

¹² Capítulo II Parámetros de Performance de un Enlace Microondas Pag. 40

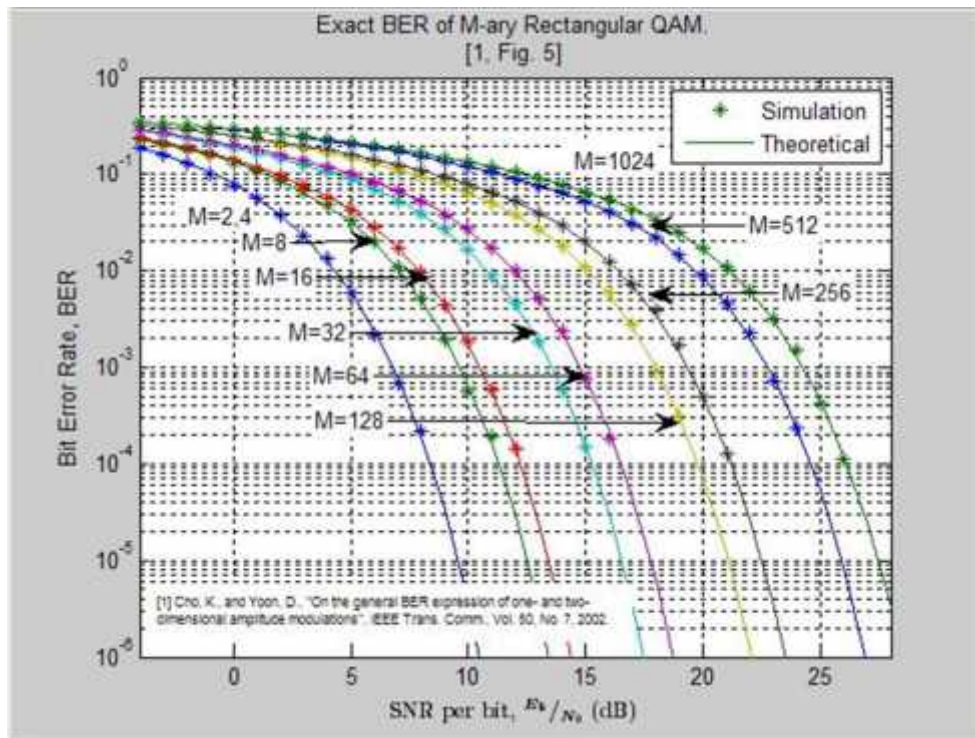


Figura 3.15. Tasa de Error Bit vs E_b/N_0 .

Fuente: HARVEY, Lehpamer (2005).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Curvas de Niveles de Recepción SDH y Packet Microwave Adaptive Modulation.

En este apartado se presentarán los gráficos de los niveles de recepción obtenidos luego de realizar las simulaciones con ambas tecnologías.

En la Figura 4.1 se muestra las curvas de los diferentes niveles de recepción que se obtuvieron al simular el enlace dorsal Trujillo-Ragache, con la tecnología convencional SDH y con el sistema Packet Microwave Adaptive Modulation bajo diferentes condiciones climáticas, que fueron posibles con la variación del coeficiente de refractividad N.

Asimismo se observa que no hay caídas significativas de señal en la recepción, puesto que los niveles de threshold de ambas tecnologías varían en un rango de -74dBm a -65dBm y las curvas muestran un límite en la recepción de -49dBm cuando el equipo opera con su mayor modulación.

Por lo expuesto anteriormente no se requiere bajar al mínimo orden la modulación, ya que los resultados son favorables para mantenerse en un rango de modulaciones adaptativas de 256QAM, 128QAM y 64QAM.

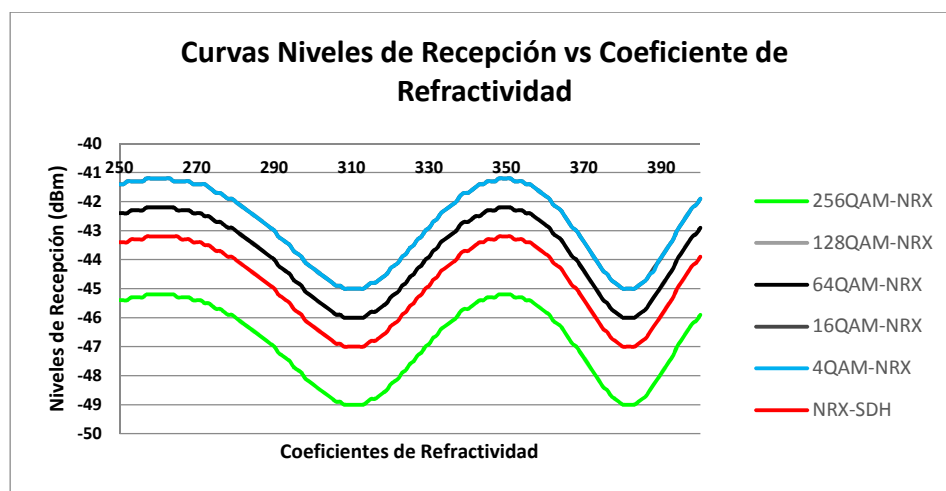


Figura 4.1 Niveles de Recepción SDH y Packet Microwave A.M.

Fuente: Elaboración Propia (2015)

4.1.2. Curvas de Márgenes de Desvanecimiento SDH y Packet Microwave Adaptive Modulation.

En este apartado se presentarán los gráficos de los diferentes Márgenes de Desvanecimiento obtenidos luego de realizar las simulaciones con ambas tecnologías.

En la Figura 4.2 se muestra las curvas de los diferentes Márgenes de Desvanecimientos que se obtuvieron al simular el enlace dorsal Trujillo-Ragache con la tecnología convencional SDH y con el sistema Packet Microwave, bajo diferentes condiciones climáticas y haciendo un cálculo con la Ecuación N° 5¹³.

Asimismo se observa que los valores alcanzados para el margen de desvanecimiento, se encuentran entre valores mínimos de 18,5 dB, para el caso de Packet Microwave 256 QAM hasta valores máximos de 44,3 dB para caso de Packet Microwave 4QAM. La disminución del orden de la modulación refleja un aumento del valor de margen de desvanecimiento.

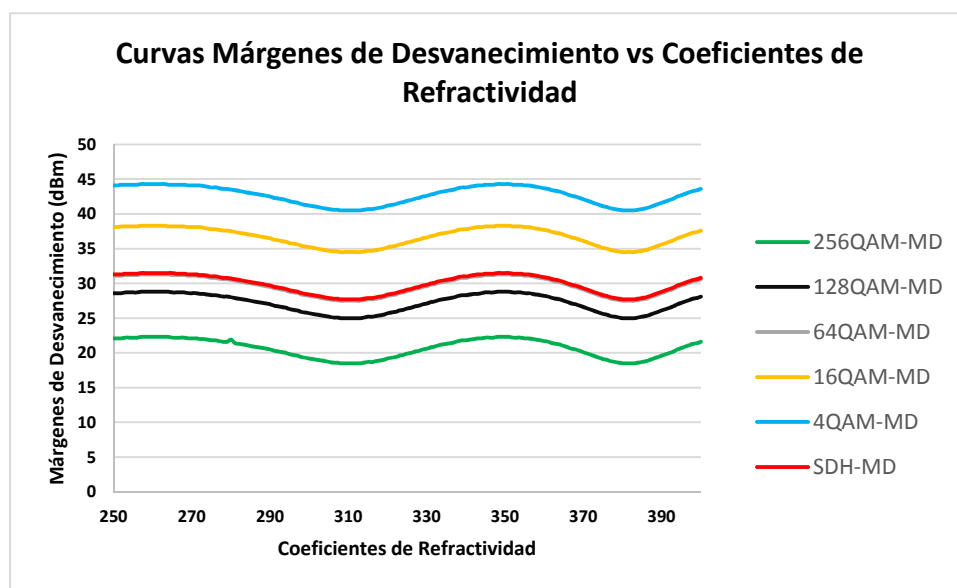


Figura 4.2 Márgenes de Desvanecimiento SDH y Packet Microwave A.M.
Fuente: Elaboración Propia (2015)

¹³ Capítulo II Parámetros de Performance de un Enlace Microondas Pag. 38

4.1.3. Curvas de Disponibilidades SDH y Packet Microwave Adaptive Modulation.

En este apartado se presentarán las curvas de disponibilidades obtenidas con la Ecuación N°6¹⁴ para ambas tecnologías.

Se muestra en la figura 4.3 las curvas de las diversas disponibilidades para cada tecnología empleada. Asimismo se observa que cuando el orden de la modulación aumenta, la disponibilidad del enlace disminuye frente a los cambios climáticos que fueron posibles simular en Radio Mobile con la variación del coeficiente de refractividad N.

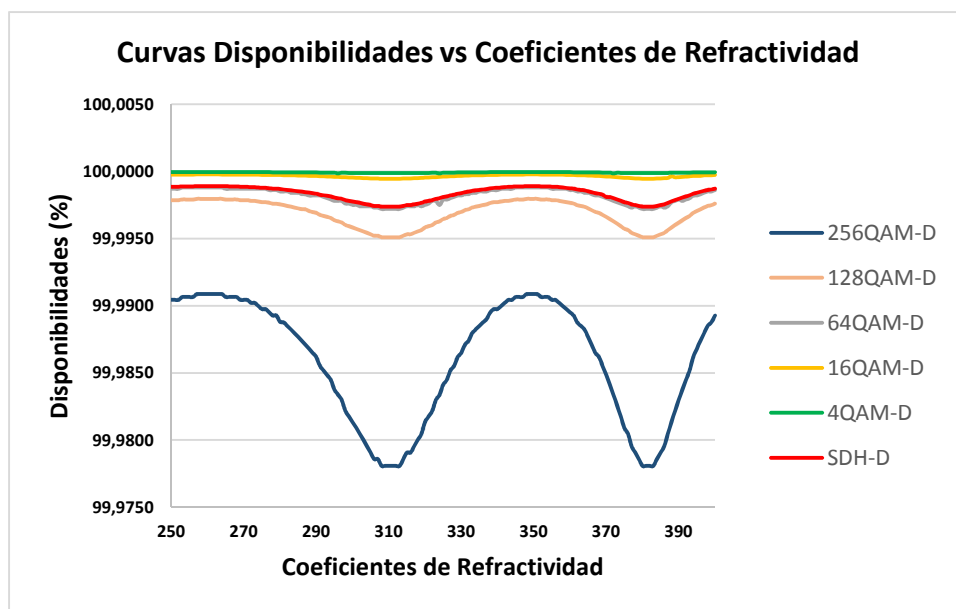


Figura 4.3 Disponibilidad SDH y Packet Microwave A.M.

Fuente: Elaboración Propia (2015).

4.1.4. Curvas de Indisponibilidades SDH y Packet Microwave Adaptive Modulation.

En este apartado se presentarán las curvas de las diferentes indisponibilidades obtenidas con la Ecuación N°7¹⁵ para ambas tecnologías.

¹⁴ Capitulo II Parámetros de Performance de un Enlace Microondas Pag. 39

¹⁵ Capitulo II Parámetros de Performance de un Enlace Microondas Pag. 39

En la Figura 4.4 se muestra las curvas de las diversas indisponibilidades, en donde se observa que al aumentar la modulación, aumenta la indisponibilidad frente a los diferentes cambios climáticos que representa la variación del coeficiente de refractividad N.

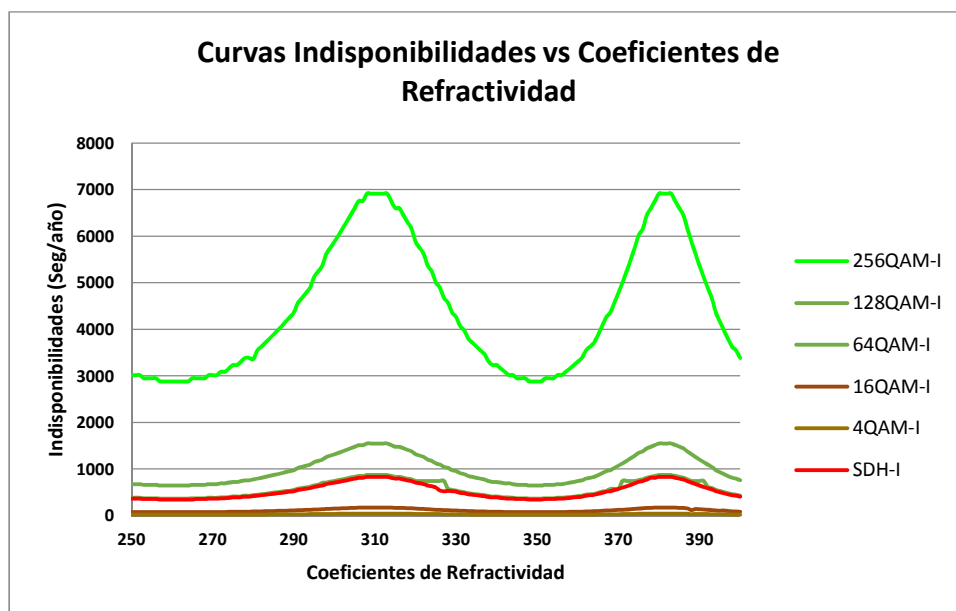


Figura 4.4 Indisponibilidad SDH y Packet Microwave A.M.

Fuente: Elaboración Propia (2015)

4.1.5. Curvas de Capacidades SDH y Packet Microwave Adaptive Modulation.

En este apartado se presentarán las curvas de las capacidades soportadas por ambas tecnologías, la curva roja representada por la capacidad fija SDH y los demás colores representadas por las 5 capacidades adaptativas Packet Microwave.

Se muestra en la Figura 4.5 las curvas de los diversas capacidades las cuales dependen de la modulación, mientras mayor sea el orden de la modulación es mucho mayor la capacidad soportada. Cabe destacar que a pesar de las variaciones climáticas simuladas, ninguna de las técnicas empleadas llegó a valores de críticos de performance que redujeran sus velocidades nominales.

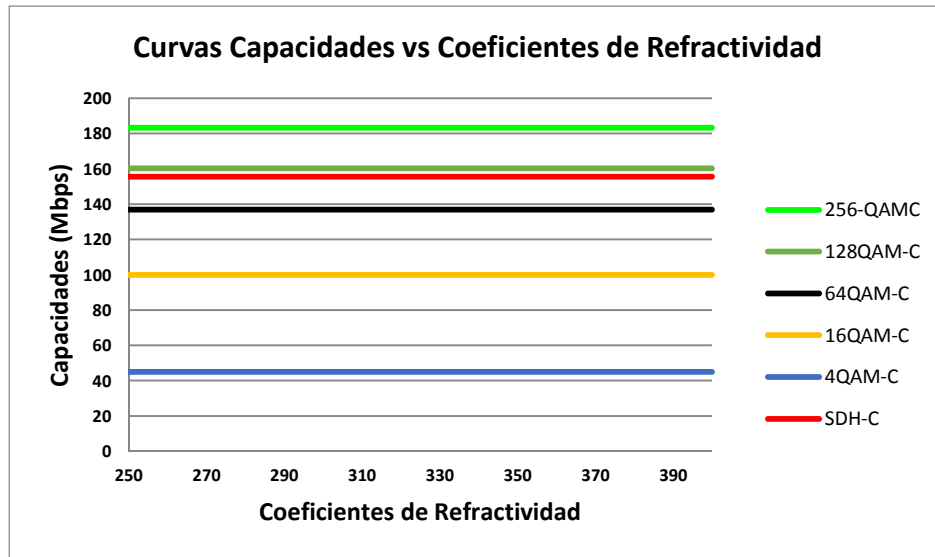


Figura 4.5 Capacidad SDH y Packet Microwave A.M.

Fuente: Elaboración Propia (2015).

4.1.6. Curvas Tasa de Error de Bit (BER) SDH y Packet Microwave Adaptive Modulation.

En este apartado se presentará una única gráfica BER para ambas tecnologías mostrada en la figura 4.6. Cabe resaltar que a pesar de los cambios climáticos simulados, no se generó en ningún caso una condición lo suficientemente desfavorable para aumentar la tasa de error de bit por encima de un $BER = 10^{-6}$. Siempre los resultados sobrepasaban holgadamente los requerimientos de $BER = 10^{-6}$.

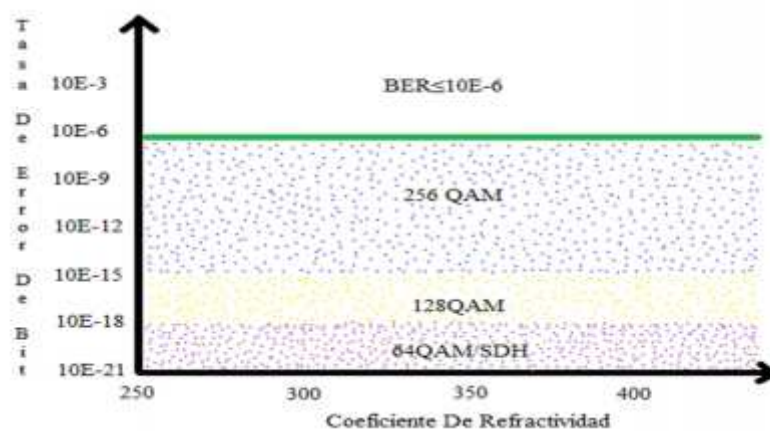


Figura 4.6 Tasa de Error de Bit SDH y Packet Microwave A.M.

Fuente: Elaboración Propia (2015).

4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

4.2.1. Comparativa Nivel de Recepción SDH vs Packet Microwave en Tramo dorsal Trujillo-Ragache.

La imagen 4.7 muestra una comparativa del nivel de recepción obtenido con las técnicas convencionales SDH 64QAM (color rojo) versus una curva consolidada del comportamiento del nivel de recepción, empleando saltos entre las técnicas de modulación adaptativa Packet Microwave 64QAM, 128QAM, 256QAM (color azul). Se puede observar dos escenarios que favorecen las caídas del nivel de recepción:

a. Valores de refractividad entre 290 a 330 unidades N

Estos rangos del coeficiente de refractividad, pueden ser generados por un aumento considerable en la temperatura ambiental de la tropósfera y/o una disminución considerable en la humedad (condiciones clima seco).

Bajo estas condiciones los niveles de recepción SDH se degradan por debajo de los niveles de recepción de Packet Microwave, favoreciendo a este último sistema.

b. Valores de refractividad entre 370 a 390 unidades N

Estos rangos de refractividad pueden ser generados por una disminución muy considerable en la temperatura (aproximadamente hasta 2°C) y un aumento muy considerable de la humedad (probables precipitaciones).

Bajo estas condiciones los niveles de recepción SDH se degradan por debajo de los niveles de recepción de Packet Microwave, favoreciendo a este último sistema.

A nivel general los valores promedio de potencia recibida son -44.8dBm para el caso de SDH y de -45.6 dBm para el caso de Packet Microwave, por ello en la evaluación general de este valor se favorece a SDH.

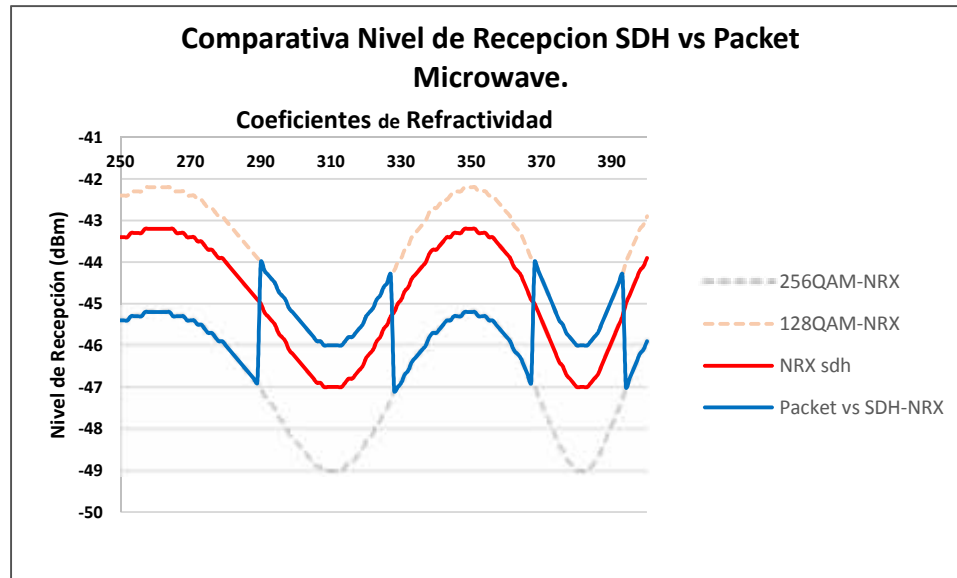


Figura 4.7 Nivel de Recepción SDH vs Packet Microwave A.M.

Fuente: Elaboración Propia (2015).

4.2.2. Comparativa Margen de Desvanecimiento SDH vs Packet Microwave en Tramo dorsal Trujillo-Ragache.

En la figura 4.8 se muestra una comparativa del margen de desvanecimiento obtenido con el sistema SDH (curva roja) versus el margen de desvanecimiento obtenido con el sistema Packet Microwave A.M. (curva azul). Se puede observar que en todos los valores de variación climática SDH supera en margen de desvanecimiento a Packet Microwave.

A nivel general los valores promedio de MD son 29.6 dBm para el caso de SDH y de 24.08 dBm para el caso de Packet Microwave, por ello en la evaluación general de este valor se favorece a SDH.

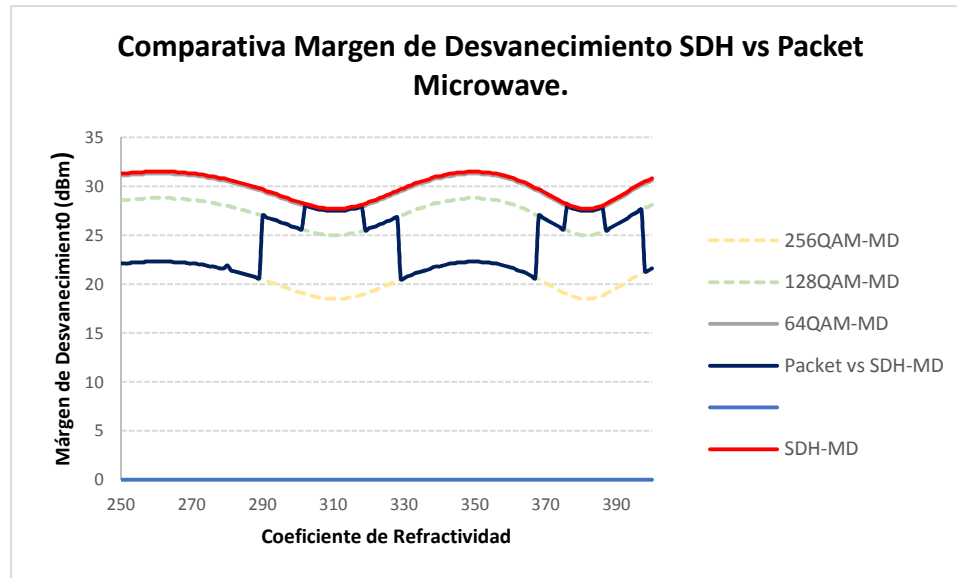


Figura 4.8 Margen de Desvanecimiento SDH vs Packet Microwave A.M.

Fuente: Elaboración Propia (2015).

4.2.3. Comparativa Disponibilidad SDH vs Packet Microwave en Tramo dorsal Trujillo-Ragache.

En la figura 4.9 se muestra una comparativa de disponibilidad obtenida con el sistema SDH (curva roja) versus la disponibilidad obtenida con el sistema Packet Microwave A.M. (curva azul). Se puede observar que en todos los valores de variación climática SDH supera en disponibilidad a Packet Microwave.

A nivel general los valores promedio de disponibilidad son 99.9983% para el caso de SDH y de 99.9928% dBm para el caso de Packet Microwave, por ello en la evaluación general de este valor se favorece a SDH.

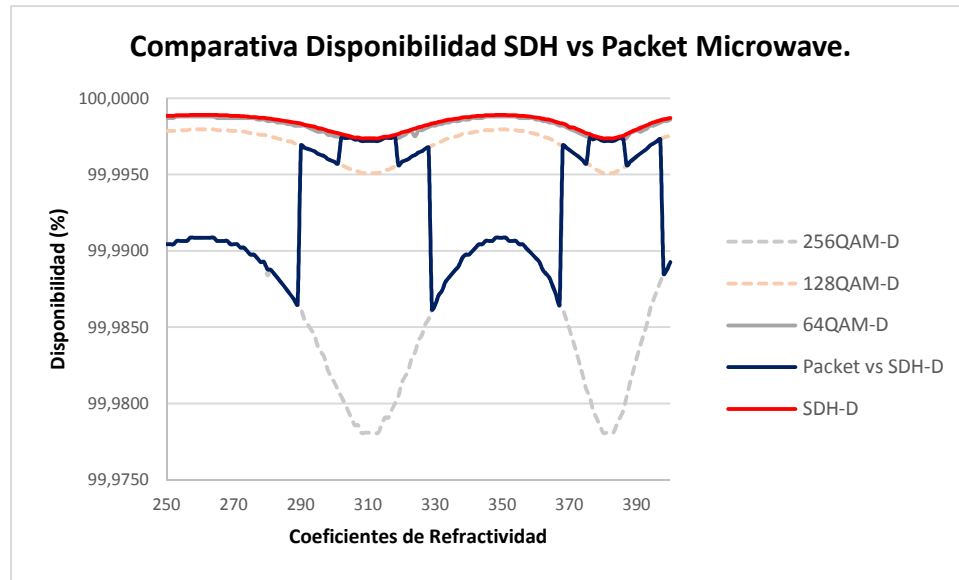


Figura 4.9 Disponibilidad SDH vs Packet Microwave A.M

Fuente: Elaboración Propia (2015).

4.2.4. Comparativa Indisponibilidad SDH vs Packet Microwave en Tramo dorsal Trujillo-Ragache.

En la figura 4.10 se muestra una comparativa de indisponibilidad obtenido con el sistema SDH (curva roja) versus la indisponibilidad obtenido con el sistema Packet Microwave A.M. (curva azul). Se puede observar que en todos los valores de variación climática Packet Microwave supera en indisponibilidad a SDH.

A nivel general los valores promedio de indisponibilidad son 532.3 seg/año para el caso de SDH y de 2262.9 seg/año para el caso de Packet Microwave, por ello en la evaluación general de este valor se favorece a SDH.

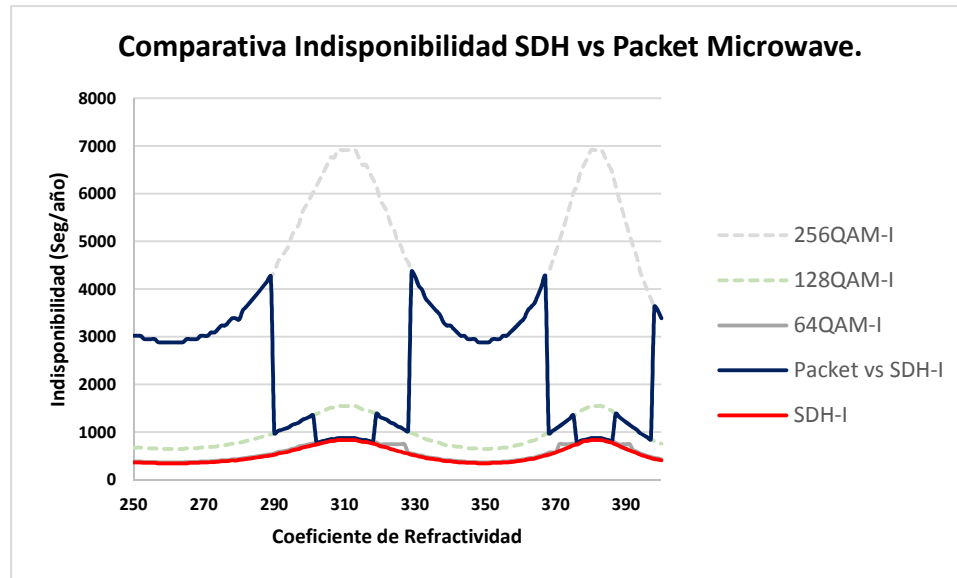


Figura 4.10 Indisponibilidad SDH vs Packet Microwave A.M

Fuente: Elaboración Propia (2015).

4.2.5. Comparativa Capacidad SDH vs Packet Microwave en Tramo dorsal Trujillo-Ragache.

En la figura 4.11 se muestra una comparativa de capacidad obtenido con el sistema SDH (curva roja) versus la capacidad obtenido con el sistema Packet Microwave A.M. (curva azul). Se puede observar que en todos los valores de variación climática Packet Microwave supera en capacidad a SDH.

A nivel general los valores promedio de capacidad son 155.52Mbps para el caso de SDH y de 175.1Mbps para el caso de Packet Microwave, por ello en la evaluación general de este valor se favorece a Packet Microwave.

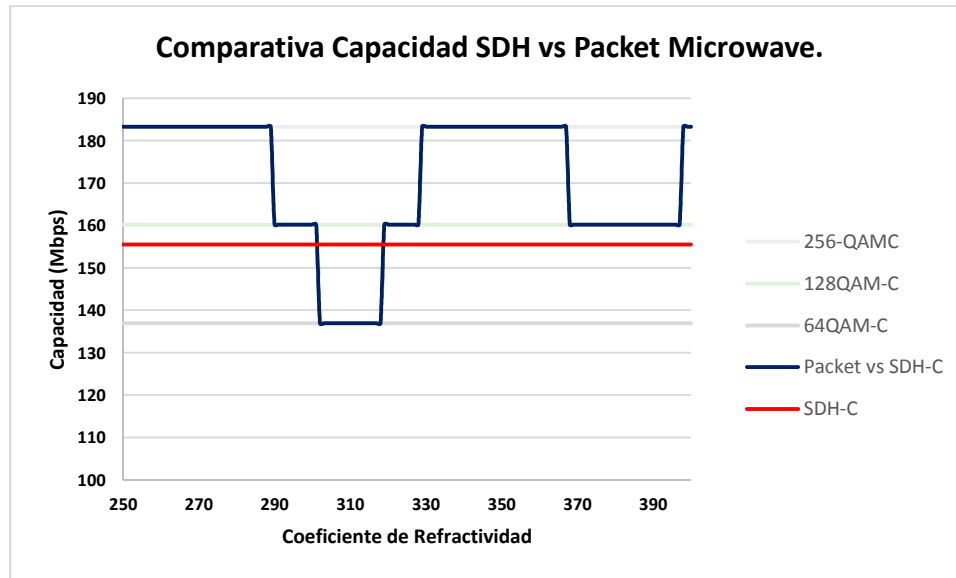


Figura 4.11 Capacidad SDH vs Packet Microwave A.M

Fuente: Elaboración Propia (2015).

4.2.6. Comparativa Tasa de Error de Bit (BER) SDH vs Packet Microwave en Tramo dorsal Trujillo-Ragache.

En la figura 4.12 se muestra una comparativa de BER obtenido con el sistema SDH versus el BER obtenido con el sistema Packet Microwave A.M. Se puede observar que en todos los valores de variación climática Packet Microwave empata en BER a SDH.

A nivel general los valores promedio de BER para ambos sistemas son 10^{-6} .

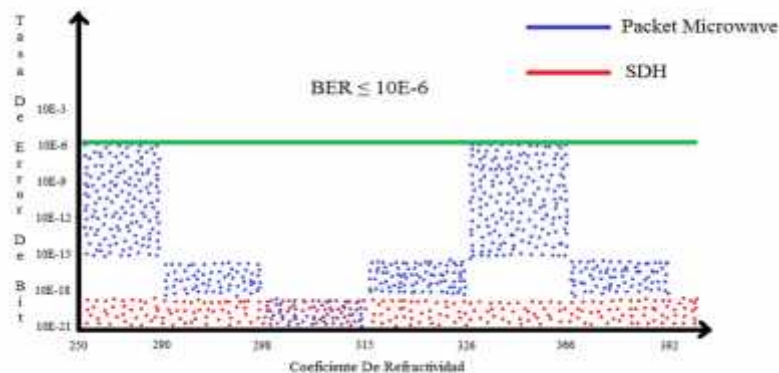


Figura 4.12 BER SDH vs Packet Microwave A.M

Fuente: Elaboración Propia (2015).

- La tabla 4.1 muestra los valores promedio de cada parámetro de performance a nivel de radio evaluados en ambos sistemas.

Tabla 4.1 Valores Promedio de Evaluación de Parámetros Radio SDH vs Packet Microwave

PARÁMETRO DE RADIO	VALOR PROMEDIO SDH	VALOR PROMEDIO PACKET MICROWAVE A.M.
Nivel de Recepción.	-44.8dBm	-45.6dBm
Margen de Desvanecimiento	29.6dBm	24.08dBm
Disponibilidad	99.9983%	99.9928%
Indisponibilidad	532.3seg/año	2262.9seg/año
Capacidad	155.52Mbps	175.1Mbps
VER	10 ^{-4.8}	10 ^{-4.6}

Fuente: Elaboración Propia (2015).

- Si bien es cierto Packet Microwave solo gana en capacidad, es evidente que la indisponibilidad y el margen de desvanecimiento se están sacrificando, en ganas de lograr una mayor capacidad que es lo buscado por el operador, sacrificando así la calidad pero asegurando una Tasa de Error de bit aceptable para transmitir comunicaciones con calidad de datos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

5.1. CONCLUSIONES

- ✓ La tecnología SDH empleada en el enlace Trujillo – Ragache Claro Perú S.A.C. opera con una modulación fija. Sus parámetros de performance a nivel de radio dependen de una única modulación 64QAM. Presenta un nivel de recepción aceptable para diferentes valores de refractividad (N), un margen de desvanecimiento estable que conlleva a una buena disponibilidad del enlace, manteniendo la capacidad de datos fija de 155 Mbps por canal de radio ante cualquier variación climática.
- ✓ La tecnología Packet Microwave propuesta para el enlace Trujillo – Ragache Claro Perú S.A.C. operaría con modulaciones adaptativas las cuales varían según la condición climática. Esto conlleva a decir que cuando hay condiciones favorables, los enlaces pueden alcanzar su mayor modulación 256 QAM aumentando así su capacidad, pero disminuyendo su disponibilidad. Asimismo cuando las condiciones no son favorables para el enlace se cambia a un orden menor de modulación tal como 128QAM o 64QAM, reduciendo su capacidad de transmisión de datos pero mejorando la disponibilidad en el enlace microondas.
- ✓ De la comparativa de los parámetros de performance se concluye que la principal ventaja de SDH se da en cuanto a la disponibilidad del enlace, lo cual es importante cuando el tráfico transportado tiene requerimientos de calidad de transmisión en tiempo real como el caso de voz telefónica, sin embargo se ve limitado en capacidad al no poder superar los 155 Mbps. Esto es desfavorable para el caso de transmisión de datos.
- ✓ De la comparativa de los parámetros de performance se concluye que la principal ventaja de Packet Microwave se da en cuanto a las capacidades de transmisión, llegando a un máximo 183 Mbps. A pesar de que los valores de indisponibilidad se degradan hasta 38 minutos al año frente a los 9 minutos evaluados para SDH, esto es aceptado por el operador puesto que el porcentaje de paquetización del tráfico de sus redes se encuentra en un aumento sostenido.

CAPÍTULO VI

RECOMENDACIONES

6.1. RECOMENDACIONES

- ✓ De acuerdo a los resultados obtenidos, se ha mostrado que el cambio del orden de la modulación SDH 64QAM a modulaciones Packet Microwave 64 QAM, 128QAM y 256QAM no generan una degradación mayor a 2dB en los niveles de recepción y demás parámetros del enlace Dorsal Trujillo-Ragache, permitiendo el aumento de las capacidades de transmisión de datos, por ello se recomienda su implementación.
- ✓ Una de las limitaciones en cuanto a la evaluación de las condiciones climáticas, fue la imposibilidad de llevar el coeficiente de refractividad a valores límites menores a 250 y mayores a 400 N units, por ello se recomendaría el empleo de otras herramientas de simulación que permitan ampliar el rango de evaluación de condiciones climáticas.
- ✓ El enlace Trujillo – Ragache de la Red Microondas Dorsal Claro Perú S.A.C. constituye uno de los tres enlaces que interconectan Trujillo con Cajamarca. Otra de las recomendaciones posibles es poder evaluar los parámetros de performance en los tres enlaces consolidando comparativas con todos los saltos radioeléctricos de interconexión entre ambas ciudades.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7.1 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIBROS

- LEHPAMER, Harvey (2010).Microwave Transmission Networks Planning Design and Deployment. (2da.Edición). New York: Mc Graw Hill. ISBN N° 9780071701228
- MANNING, Trevor (2009).Microwave Radio Transmission Design Guide. (2°.ed.).EEUU: Artech House.S.L. ISBN N° 9781596934573

PAPER

- LONG Hao. Et al JANUARY (2011) Microwave Technologies for Carrier Ethernet Services.

TESIS

- RODRÍGUEZ TORIBIO, James Jonathan; RUSBERT GAMANIEL, Rodríguez Ramírez (2013). Estudio de la Migración IPRAN del Operador América Móviles Perú S.A.C. Para Ampliar la Capacidad de Interconexión Del Nodo B Huascar en la urbanización Bella Unión, Provincia Constitucional del Callao. Tesis de Grado. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo - Perú.

DOCUMENTOS

- The Metro Ethernet Forum (2004). MEF 8. Implementation Agreement for the Emulation of PDH Circuits over Metro Ethernet Networks.
http://www.metroethernetforum.org/Assets/Technical_Specifications/PDF/MEF8.pdf.

- The Metro Ethernet Forum (2009). MEF 22. Implementation Agreement for the Emulation of PDH Circuits over Metro Ethernet Networks.
http://www.metroethernetforum.org/PDF_Documents/technical_specifications/MEF22.pdf.
- CENTRO REGIONAL DE PLANEAMIENTO ESTRATEGICO (CERPLAN) – GOBIERNO REGIONAL LA LIBERTAD-SETIEMBRE 2009.
http://www.ceplan.gob.pe/sites/default/files/Documentos/pdf/plan/PDRC/PDRC_LALIBERD.pdf.
- The Metro Ethernet Forum (2011). Microwave Technologies for Carrier Ethernet Services.
https://metroethernetforum.org/Assets/White_Papers/MEF_Microwave_Technology_for_Carrier_Ethernet_Final_110318_000010_000.pdf.
- FUJITSU, Understanding Mobile Wireless Backhaul. Tokio Japan. 2005
http://www.hit.bme.hu/~jakab/edu/litr/Mobile_backhaul/Fujitsu_Wireless_Backhaul.pdf.com.
- Plano de Arquitectura de la Red de Transporte Trujillo-Ragache del Operador Claro-Perú S.A.C. (2014).

MANUALES

- ALCATEL LUCENT, Alcatel - Lucent 9500 MPR Microwave Packet Radio Release 4.1 ETSI. Noviembre 2012.
- ALCATEL LUCENT, Alcatel – 9600 LSY Long-Haul Digital Radio Links 4.1 ETSI. Noviembre 2012

INTERNET

- Alcatel-Lucen 9500 Microwave Packet Radio (ETSI Markets).

http://www.sysoco.fr/doc/catalogue/4-FH-RLAN/4-1-FH/FAISCEAU-NUMERIQUE_ALCATEL_9500_MPR_ETSI_Bro.pdf.

Último acceso: 15 de Octubre del 2014.

- Huawei OPTIX RTN620 Product Description, 2006

<https://es.scribd.com/doc/224335348/1-OptiX-RTN-900-V100R002-Product-Description>.

Último acceso: 20 de Noviembre del 2014.

ANEXOS

ANEXO 01: Guía de Entrevista N° 01

Entrevistado:

Ing. Demetrio Vega

Entrevistadores: Berly Silva Vargas

Jordan Noriega Pretel

Fecha: 4 de Noviembre del 2014

Institución: Universidad Privada Antenor
Orrego.

Objetivo

Conocer que tecnologías siguen vigentes en los enlaces de transporte vía microondas en la región La Libertad empleados por el Operador Claro-Perú S.A.C.

Dirigido a:

Ingeniero de operaciones Claro- Trujillo S.A.C.

Preguntas

1. ¿Tiene usted conocimiento de alguna red de transporte vía microondas del operador Claro-Perú S.A.C. en la región La Libertad que utilice tecnología TDM?
2. ¿Tiene usted conocimiento de alguna red de transporte vía microondas del operador Claro-Perú S.A.C. en la región La Libertad que utilice tecnología Packet Microwave?
3. ¿Cómo calificaría usted la realidad de las redes de transporte vía microondas del operador Claro-Perú S.A.C en la región La Libertad?
4. ¿Considera usted que la aplicación de nuevas tecnologías ayudaría a mejorar los actuales sistemas de transporte vía microondas del operador Claro en la región La Libertad?

Resumen

El entrevistado nos refirió sobre algunas redes de transporte en la región La Libertad que aún emplean la tecnología (TDM), como por ejemplo: Red Dorsal Trujillo-Cajamarca y la red de transporte en el tramo Trujillo-Ragache. También nos hizo llegar un documento sobre su arquitectura (Anexo N° 4). Afirmó, además, que aún no se ha implementado redes de transporte con tecnología Packet Microwave en la región La Libertad, pero que sí tiene conocimiento de los actuales sistemas de transporte que emplean tecnologías TDM. Añadió que éstas, sin embargo, presentan ciertas limitaciones, por lo que es necesario realizar un estudio sobre nuevas tecnologías que permita definir sus limitaciones y deficiencias para poder plantear un nuevo diseño.

ANEXO 02: Guía de Entrevista N° 02

Entrevistado:

Ing. Edwin Hurtado

Entrevistadores: Berly Silva Vargas

Jordan Noriega Pretel

Fecha: 6 de Noviembre del 2014

Institución: Universidad Privada Antenor

Orrego.

Objetivo

Estar informados sobre el crecimiento en la demanda de servicios de datos en los últimos años (2010-2014).

Dirigido a:

Jefe de Operaciones en la Región Norte Claro Perú S.A.C.

Preguntas

1. ¿Cómo ha influenciado el crecimiento y evolución de la red Claro, con la demanda de servicio de datos en los últimos años, en la región la Libertad?
2. ¿Tiene usted conocimiento sobre planes de desarrollo en el área de las telecomunicaciones en la región La Libertad?
3. ¿Cómo calificaría usted la demanda actual de servicios de datos frente a la demanda de servicios de voz en la región La Libertad?

Resumen

El entrevistado nos refirió que la evolución de las aplicaciones en los celulares se ha hecho notar masivamente porque los usuarios prefieren navegar mucho por internet y usar servicios multimedia. Manifestó que, actualmente, el tráfico de datos representa casi el 80% del tráfico móvil. Además, nos informó acerca del Plan de Desarrollo Regional Concertado de la Región La Libertad 2010 – 2021, el cual trata sobre el desarrollado de planes de consorcio en las doce provincias de la región La Libertad, que tratan sobre el análisis de las potencialidades y de cómo se aprovecharán para lograr su desarrollo a futuro. Gracias a estas potencialidades se plantean objetivos en los cuales se menciona adherir nuevas PYMES, mejorar el sistema de las telecomunicaciones, supermercados, aumento de minería, empresas de servicio y de bienes.

ANEXO 03: Guía de Entrevista N° 03

Entrevistado:

Ing. Jorge Cortez Segura

Entrevistadores: Berly Silva Vargas

Jordan Noriega Pretel

Fecha: 10 de Noviembre del 2014

Institución: Universidad Privada Antenor
Orrego.

Objetivo

Tener una perspectiva de las desventajas de los sistemas SDH que presentan actualmente frente al transporte de datos.

Dirigido a:

Ingeniero de Network Operación Center Claro Perú S.A.C.

Preguntas

1. ¿Qué tecnología de multiplexación emplean los sistemas SDH?
2. ¿Considera usted correcto el uso de los sistemas SDH para el transporte de voz? ¿Por qué?
3. ¿Considera usted correcto el uso de los sistemas SDH para el transporte de datos? ¿Por qué?
4. ¿Considera usted adecuado que en la actualidad se siga utilizando sistemas SDH para transportar tráfico de paquetes? ¿Por qué?

Resumen

El entrevistado nos refirió acerca de la Tecnología TDM (Multiplexin Division Time), la cual es empleada actualmente en algunas de las redes de transporte y de acceso en el país. También nos informó sobre algunas desventajas que presenta el transporte TDM frente al tráfico de datos, en cuanto a parámetros de costos y rentabilidad para el operador. Por último, nos dio a conocer que las técnicas TDM únicamente fueron rentables en sus inicios, cuando el tráfico de voz fue superior al tráfico de datos, pero, actualmente, dicho tráfico ha ido creciendo masivamente. Actualmente, ya no es rentable utilizar sistemas SDH/PDH para transportar tráfico de paquetes.

ANEXO 04:
PLANO DE ARQUITECTURA DE LA RED DE TRASNPORTE TRUJILLO –
RAGACHE.

ANEXO 05:
HOJA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL EQUIPO ALCATEL-LUCENT
9600 LSY LONG-HAUL DIGITAL RADIO LINKS.

ANEXO 06:
HOJA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL EQUIPO ALCATEL-LUCENT
9500 MICROWAVE PACKET RADIO.

ANEXO 07:
HOJA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE ANTENA HPX8-59-D1A.

ANEXO 08:
HOJA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE GUIA DE ONDA EWP52.

ANEXO 09:
TABLA DE EVALUACIÓN DE PARÁMETROS RADIO SDH (64QAM).

N	N°	SDH-NRX(dBm)	SDH-MD(dB)	SDH-D(%)	SDH-I(seg/año)	SDH-C(Mbps)	SDH-BER
250	1	-43.4	31.3	99.9989	362.79	155.52	0.000001
251	2	-43.4	31.3	99.9989	362.79	155.52	0.000001
252	3	-43.4	31.3	99.9989	362.79	155.52	0.000001
253	4	-43.3	31.4	99.9989	354.53	155.52	0.000001
254	5	-43.3	31.4	99.9989	354.53	155.52	0.000001
255	6	-43.3	31.4	99.9989	354.53	155.52	0.000001
256	7	-43.3	31.4	99.9989	354.53	155.52	0.000001
257	8	-43.2	31.5	99.9989	346.46	155.52	0.000001
258	9	-43.2	31.5	99.9989	346.46	155.52	0.000001
259	10	-43.2	31.5	99.9989	346.46	155.52	0.000001
260	11	-43.2	31.5	99.9989	346.46	155.52	0.000001
261	12	-43.2	31.5	99.9989	346.46	155.52	0.000001
262	13	-43.2	31.5	99.9989	346.46	155.52	0.000001
263	14	-43.2	31.5	99.9989	346.46	155.52	0.000001
264	15	-43.2	31.5	99.9989	346.46	155.52	0.000001
265	16	-43.2	31.5	99.9989	346.46	155.52	0.000001
266	17	-43.3	31.4	99.9989	354.53	155.52	0.000001
267	18	-43.3	31.4	99.9989	354.53	155.52	0.000001
268	19	-43.3	31.4	99.9989	354.53	155.52	0.000001
269	20	-43.4	31.3	99.9989	362.79	155.52	0.000001
270	21	-43.4	31.3	99.9989	362.79	155.52	0.000001
271	22	-43.4	31.3	99.9989	362.79	155.52	0.000001
272	23	-43.5	31.2	99.9988	371.24	155.52	0.000001
273	24	-43.5	31.2	99.9988	371.24	155.52	0.000001
274	25	-43.6	31.1	99.9988	379.89	155.52	0.000001
275	26	-43.7	31	99.9988	388.74	155.52	0.000001
276	27	-43.7	31	99.9988	388.74	155.52	0.000001
277	28	-43.8	30.9	99.9987	397.79	155.52	0.000001
278	29	-43.9	30.8	99.9987	407.06	155.52	0.000001
279	30	-43.9	30.8	99.9987	407.06	155.52	0.000001
280	31	-44	30.7	99.9987	416.54	155.52	0.000001
281	32	-44.1	30.6	99.9986	426.24	155.52	0.000001
282	33	-44.2	30.5	99.9986	436.17	155.52	0.000001
283	34	-44.3	30.4	99.9986	446.33	155.52	0.000001
284	35	-44.4	30.3	99.9986	456.72	155.52	0.000001
285	36	-44.5	30.2	99.9985	467.36	155.52	0.000001
286	37	-44.6	30.1	99.9985	478.25	155.52	0.000001

287	38	-44.7	30	99.9984	489.39	155.52	0.000001
288	39	-44.8	29.9	99.9984	500.79	155.52	0.000001
289	40	-44.9	29.8	99.9984	512.45	155.52	0.000001
290	41	-45	29.7	99.9983	524.39	155.52	0.000001
291	42	-45.2	29.5	99.9983	549.1	155.52	0.000001
292	43	-45.3	29.4	99.9982	561.89	155.52	0.000001
293	44	-45.4	29.3	99.9982	574.98	155.52	0.000001
294	45	-45.5	29.2	99.9981	588.38	155.52	0.000001
295	46	-45.7	29	99.998	616.1	155.52	0.000001
296	47	-45.8	28.9	99.998	630.46	155.52	0.000001
297	48	-45.9	28.8	99.998	645.14	155.52	0.000001
298	49	-46.1	28.6	99.9979	675.55	155.52	0.000001
299	50	-46.2	28.5	99.9978	691.28	155.52	0.000001
300	51	-46.3	28.4	99.9978	707.38	155.52	0.000001
301	52	-46.4	28.3	99.9977	723.86	155.52	0.000001
302	53	-46.5	28.2	99.9977	740.72	155.52	0.000001
303	54	-46.6	28.1	99.9976	757.97	155.52	0.000001
304	55	-46.7	28	99.9975	775.63	155.52	0.000001
305	56	-46.8	27.9	99.9975	793.7	155.52	0.000001
306	57	-46.9	27.8	99.9974	812.18	155.52	0.000001
307	58	-46.9	27.8	99.9974	812.18	155.52	0.000001
308	59	-47	27.7	99.9974	831.1	155.52	0.000001
309	60	-47	27.7	99.9974	831.1	155.52	0.000001
310	61	-47	27.7	99.9974	831.1	155.52	0.000001
311	62	-47	27.7	99.9974	831.1	155.52	0.000001
312	63	-47	27.7	99.9974	831.1	155.52	0.000001
313	64	-47	27.7	99.9974	831.1	155.52	0.000001
314	65	-46.9	27.8	99.9974	812.18	155.52	0.000001
315	66	-46.8	27.9	99.9975	793.7	155.52	0.000001
316	67	-46.8	27.9	99.9975	793.7	155.52	0.000001
317	68	-46.7	28	99.9975	775.63	155.52	0.000001
318	69	-46.6	28.1	99.9976	757.97	155.52	0.000001
319	70	-46.5	28.2	99.9977	740.72	155.52	0.000001
320	71	-46.3	28.4	99.9978	707.38	155.52	0.000001
321	72	-46.2	28.5	99.9978	691.28	155.52	0.000001
322	73	-46.1	28.6	99.9979	675.55	155.52	0.000001
323	74	-45.9	28.8	99.998	645.14	155.52	0.000001
324	75	-45.8	28.9	99.998	630.46	155.52	0.000001

325	76	-45.6	29.1	99.9981	602.08	155.52	0.000001
326	77	-45.5	29.2	99.9981	588.38	155.52	0.000001
327	78	-45.3	29.4	99.9982	561.89	155.52	0.000001
328	79	-45.2	29.5	99.9983	549.1	155.52	0.000001
329	80	-45	29.7	99.9983	524.39	155.52	0.000001
330	81	-44.9	29.8	99.9984	512.45	155.52	0.000001
331	82	-44.7	30	99.9984	489.39	155.52	0.000001
332	83	-44.6	30.1	99.9985	478.25	155.52	0.000001
333	84	-44.4	30.3	99.9986	456.72	155.52	0.000001
334	85	-43.3	30.4	99.9986	446.33	155.52	0.000001
335	86	-44.2	30.5	99.9986	436.17	155.52	0.000001
336	87	-44.1	30.6	99.9986	426.24	155.52	0.000001
337	88	-44	30.7	99.9987	416.54	155.52	0.000001
338	89	-43.8	30.9	99.9987	397.79	155.52	0.000001
339	90	-43.7	31	99.9988	388.74	155.52	0.000001
340	91	-43.7	31	99.9988	388.74	155.52	0.000001
341	92	-43.6	31.1	99.9988	379.89	155.52	0.000001
342	93	-43.5	31.2	99.9988	371.24	155.52	0.000001
343	94	-43.4	31.3	99.9989	362.79	155.52	0.000001
344	95	-43.4	31.3	99.9989	362.79	155.52	0.000001
345	96	-43.3	31.4	99.9989	354.53	155.52	0.000001
346	97	-43.3	31.4	99.9989	354.53	155.52	0.000001
347	98	-43.3	31.4	99.9989	354.53	155.52	0.000001
348	99	-43.2	31.5	99.9989	346.46	155.52	0.000001
349	100	-43.2	31.5	99.9989	346.46	155.52	0.000001
350	101	-43.2	31.5	99.9989	346.46	155.52	0.000001
351	102	-43.2	31.5	99.9989	346.46	155.52	0.000001
352	103	-43.3	31.4	99.9989	354.53	155.52	0.000001
353	104	-43.3	31.4	99.9989	354.53	155.52	0.000001
354	105	-43.3	31.4	99.9989	354.53	155.52	0.000001
355	106	-43.4	31.3	99.9989	362.79	155.52	0.000001
356	107	-43.4	31.3	99.9989	362.79	155.52	0.000001
357	108	-43.5	31.2	99.9988	371.24	155.52	0.000001
358	109	-43.6	31.1	99.9988	379.89	155.52	0.000001
359	110	-43.7	31	99.9988	388.74	155.52	0.000001
360	111	-43.8	30.9	99.9987	97.79	155.52	0.000001
361	112	-43.9	30.8	99.9987	407.06	155.52	0.000001
362	113	-44.1	30.6	99.9986	26.24	155.52	0.000001

363	114	-44.2	30.5	99.9986	436.17	155.52	0.000001
364	115	-44.3	30.4	99.9986	446.33	155.52	0.000001
365	116	-44.5	30.2	99.9985	467.36	155.52	0.000001
366	117	-44.7	30	99.9984	489.39	155.52	0.000001
367	118	-44.9	29.8	99.9984	512.45	155.52	0.000001
368	119	-45	29.7	99.9983	524.39	155.52	0.000001
369	120	-45.2	29.5	99.9983	549.1	155.52	0.000001
370	121	-45.4	29.3	99.9981	574.98	155.52	0.000001
371	122	-45.6	29.1	99.9981	602.08	155.52	0.000001
372	123	-45.8	28.9	99.998	630.46	155.52	0.000001
373	124	-46	28.7	99.9979	660.17	155.52	0.000001
374	125	-46.2	28.5	99.9978	691.28	155.52	0.000001
375	126	-46.4	28.3	99.9977	723.86	155.52	0.000001
376	127	-46.5	28.2	99.9977	740.72	155.52	0.000001
377	128	-46.7	28	99.9975	775.63	155.52	0.000001
378	129	-46.8	27.9	99.9975	812.18	155.52	0.000001
379	130	-46.9	27.8	99.9974	812.18	155.52	0.000001
380	131	-47	27.7	99.9974	831.1	155.52	0.000001
381	132	-47	27.7	99.9974	831.1	155.52	0.000001
382	133	-47	27.7	99.9974	831.1	155.52	0.000001
383	134	-47	27.7	99.9974	831.1	155.52	0.000001
384	135	-46.9	27.8	99.9974	812.18	155.52	0.000001
385	136	-46.8	27.9	99.9975	793.7	155.52	0.000001
386	137	-46.7	28	99.9975	775.63	155.52	0.000001
387	138	-46.5	28.2	99.9977	740.72	155.52	0.000001
388	139	-46.3	28.4	99.9978	707.38	155.52	0.000001
389	140	-46.1	28.6	99.9979	675.55	155.52	0.000001
390	141	-45.9	28.8	99.998	645.14	155.52	0.000001
391	142	-45.7	29	99.998	616.1	155.52	0.000001
392	143	-45.5	29.2	99.9981	588.38	155.52	0.000001
393	144	-45.3	29.4	99.9982	61.89	155.52	0.000001
394	145	-45	29.7	99.9983	524.39	155.52	0.000001
395	146	-44.8	29.9	99.9984	500.79	155.52	0.000001
396	147	-44.6	30.1	99.9985	478.25	155.52	0.000001
397	148	-44.4	30.3	99.9986	456.72	155.52	0.000001
398	149	-44.2	30.5	99.9986	436.17	155.52	0.000001
399	150	-44.1	30.6	99.9986	426.24	155.52	0.000001
400	151	-43.9	30.8	99.9987	407.06	155.52	0.000001

Fuente: Elaboración Propia (2015).

ANEXO 10:
TABLA DE EVALUACIÓN DE NIVEL DE RECEPCIÓN PACKET MICROWAVE.

N1	N°	256QAM- NRX(dBm)	128QAM- NRX (dBm)	64QAM- NRX(dBm)	16QAM- NRX(dBm)	4QAM- NRX(dBm)
250	1	-45.4	-42.4	-42.4	-41.4	-41.4
251	2	-45.4	-42.4	-42.4	-41.4	-41.4
252	3	-45.4	-42.4	-42.4	-41.3	-41.3
253	4	-45.3	-42.3	-42.3	-41.3	-41.3
254	5	-45.3	-42.3	-42.3	-41.3	-41.3
255	6	-45.3	-42.3	-42.3	-41.3	-41.3
256	7	-45.3	-42.3	-42.3	-41.3	-41.3
257	8	-45.2	-42.2	-42.2	-41.2	-41.2
258	9	-45.2	-42.2	-42.2	-41.2	-41.2
259	10	-45.2	-42.2	-42.2	-41.2	-41.2
260	11	-45.2	-42.2	-42.2	-41.2	-41.2
261	12	-45.2	-42.2	-42.2	-41.2	-41.2
262	13	-45.2	-42.2	-42.2	-41.2	-41.2
263	14	-45.2	-42.2	-42.2	-41.2	-41.2
264	15	-45.2	-42.2	-42.2	-41.3	-41.3
265	16	-45.3	-42.3	-42.3	-41.3	-41.3
266	17	-45.3	-42.3	-42.3	-41.3	-41.3
267	18	-45.3	-42.3	-42.3	-41.3	-41.3
268	19	-45.3	-42.3	-42.3	-41.3	-41.3
269	20	-45.4	-42.4	-42.4	-41.4	-41.4
270	21	-45.4	-42.4	-42.4	-41.4	-41.4
271	22	-45.4	-42.4	-42.4	-41.4	-41.4
272	23	-45.5	-42.5	-42.5	-41.4	-41.4
273	24	-45.5	-42.5	-42.5	-41.5	-41.5
274	25	-45.6	-42.6	-42.6	-41.6	-41.6
275	26	-45.7	-42.7	-42.7	-41.7	-41.7
276	27	-45.7	-42.7	-42.7	-41.7	-41.7
277	28	-45.8	-42.8	-42.8	-41.8	-41.8
278	29	-45.9	-42.9	-42.9	-41.9	-41.9
279	30	-45.9	-42.9	-42.9	-41.9	-41.9
280	31	-46	-43	-43	-42	-42
281	32	-46.1	-43.1	-43.1	-42.1	-42.1
282	33	-46.2	-43.2	-43.2	-42.2	-42.2
283	34	-46.3	-43.3	-43.3	-42.3	-42.3
284	35	-46.4	-43.4	-43.4	-42.4	-42.4
285	36	-46.5	-43.5	-43.5	-42.5	-42.5

286	37	-46.6	-43.6	-43.6	-42.6	-42.6
287	38	-46.7	-43.7	-43.7	-42.7	-42.7
288	39	-46.8	-43.8	-43.8	-42.8	-42.8
289	40	-46.9	-43.9	-43.9	-42.9	-42.9
290	41	-47	-44	-44	-43	-43
291	42	-47.2	-44.2	-44.2	-43.2	-43.2
292	43	-47.3	-44.3	-44.3	-43.3	-43.3
293	44	-47.4	-44.4	-44.4	-43.4	-43.4
294	45	-47.5	-44.5	-44.5	-43.5	-43.5
295	46	-47.7	-44.7	-44.7	-43.7	-43.7
296	47	-47.8	-44.8	-44.8	-43.8	-43.8
297	48	-47.9	-44.9	-44.9	-43.9	-43.9
298	49	-48.1	-45.1	-45.1	-44.1	-44.1
299	50	-48.2	-45.2	-45.2	-44.2	-44.2
300	51	-48.3	-45.3	-45.3	-44.3	-44.3
301	52	-48.4	-45.4	-45.4	-44.4	-44.4
302	53	-48.5	-45.5	-45.5	-44.5	-44.5
303	54	-48.6	-45.6	-45.6	-44.6	-44.6
304	55	-48.7	-45.7	-45.7	-44.7	-44.7
305	56	-48.8	-45.8	-45.8	-44.8	-44.8
306	57	-48.9	-45.9	-45.9	-44.9	-44.9
307	58	-48.9	-45.9	-45.9	-44.9	-44.9
308	59	-49	-46	-46	-45	-45
309	60	-49	-46	-46	-45	-45
310	61	-49	-46	-46	-45	-45
311	62	-49	-46	-46	-45	-45
312	63	-49	-46	-46	-45	-45
313	64	-49	-46	-46	-45	-45
314	65	-48.9	-45.9	-45.9	-44.9	-44.9
315	66	-48.8	-45.8	-45.8	-44.8	-44.8
316	67	-48.8	-45.8	-45.8	-44.8	-44.8
317	68	-48.7	-45.7	-45.7	-44.7	-44.7
318	69	-48.6	-45.6	-45.6	-44.6	-44.6
319	70	-48.5	-45.5	-45.5	-44.5	-44.5
320	71	-48.3	-45.3	-45.3	-44.3	-44.3
321	72	-48.2	-45.2	-45.2	-44.2	-44.2
322	73	-48.1	-45.1	-45.1	-44.1	-44.1
323	74	-47.9	-44.9	-44.9	-43.9	-43.9
324	75	-47.8	-44.8	-44.8	-43.8	-43.8
325	76	-47.6	-44.6	-44.6	-43.6	-43.6
326	77	-47.5	-44.5	-44.5	-43.5	-43.5

327	78	-47.3	-44.3	-44.3	-43.3	-43.3
328	79	-47.2	-44.2	-44.2	-43.2	-43.2
329	80	-47	-44	-44	-43	-43
330	81	-46.9	-43.9	-43.9	-42.9	-42.9
331	82	-46.7	-43.7	-43.7	-42.7	-42.7
332	83	-46.6	-43.6	-43.6	-42.6	-42.6
333	84	-46.4	-43.4	-43.4	-42.4	-42.4
334	85	-46.3	-43.3	-43.3	-42.3	-42.3
335	86	-46.2	-43.2	-43.2	-42.2	-42.2
336	87	-46.1	-43.1	-43.1	-42.1	-42.1
337	88	-46	-43	-43	-42	-42
338	89	-45.8	-42.8	-42.8	-41.8	-41.8
339	90	-45.7	-42.7	-42.7	-41.7	-41.7
340	91	-45.7	-42.7	-42.7	-41.7	-41.7
341	92	-45.6	-42.6	-42.6	-41.6	-41.6
342	93	-45.5	-42.5	-42.5	-41.5	-41.5
343	94	-45.4	-42.5	-42.5	-41.4	-41.4
344	95	-45.4	-42.4	-42.4	-41.4	-41.4
345	96	-45.3	-42.3	-42.3	-41.3	-41.3
346	97	-45.3	-42.3	-42.3	-41.3	-41.3
347	98	-45.3	-42.3	-42.3	-41.3	-41.3
348	99	-45.2	-42.2	-42.2	-41.2	-41.2
349	100	-45.2	-42.2	-42.2	-41.2	-41.2
350	101	-45.2	-42.2	-42.2	-41.2	-41.2
351	102	-45.2	-42.2	-42.2	-41.2	-41.2
352	103	-45.3	-42.3	-42.3	-41.3	-41.3
353	104	-45.3	-42.3	-42.3	-41.3	-41.3
354	105	-45.3	-42.3	-42.3	-41.3	-41.3
355	106	-45.4	-42.4	-42.4	-41.4	-41.4
356	107	-45.4	-42.4	-42.4	-41.4	-41.4
357	108	-45.5	-42.5	-42.5	-41.5	-41.5
358	109	-45.6	-42.6	-42.6	-41.6	-41.6
359	110	-45.7	-42.7	-42.7	-41.7	-41.7
360	111	-45.8	-42.8	-42.8	-41.8	-41.8
361	112	-45.9	-42.9	-42.9	-41.9	-41.9
362	113	-46.1	-43.1	-43.1	-42.1	-42.1
363	114	-46.2	-43.2	-43.2	-42.2	-42.2
364	115	-46.3	-43.3	-43.3	-42.3	-42.3
365	116	-46.5	-43.5	-43.5	-42.5	-42.5
366	117	-46.7	-43.7	-43.7	-42.7	-42.7
367	118	-46.9	-43.9	-43.9	-42.9	-42.9

368	119	-47	-44	-44	-43	-43
369	120	-47.2	-44.2	-44.2	-43.2	-43.2
370	121	-47.4	-44.4	-44.4	-43.4	-43.4
371	122	-47.6	-44.6	-44.6	-43.6	-43.6
372	123	-47.8	-44.8	-44.8	-43.8	-43.8
373	124	-48	-45	-45	-44	-44
374	125	-48.2	-45.2	-45.2	-44.2	-44.2
375	126	-48.4	-45.4	-45.4	-44.4	-44.4
376	127	-48.5	-45.5	-45.5	-44.5	-44.5
377	128	-48.7	-45.7	-45.7	-44.7	-44.7
378	129	-48.8	-45.8	-45.8	-44.8	-44.8
379	130	-48.9	-45.9	-45.9	-44.9	-44.9
380	131	-49	-46	-46	-45	-45
381	132	-49	-46	-46	-45	-45
382	133	-49	-46	-46	-45	-45
383	134	-49	-46	-46	-45	-45
384	135	-48.9	-45.9	-45.9	-44.9	-44.9
385	136	-48.8	-45.8	-45.8	-44.8	-44.8
386	137	-48.7	-45.7	-45.7	-44.7	-44.7
387	138	-48.5	-45.5	-45.5	-44.5	-44.5
388	139	-48.3	-45.3	-45.3	-44.3	-44.4
389	140	-48.1	-45.1	-45.1	-44.1	-44.1
390	141	-47.9	-44.9	-44.9	-43.9	-43.9
391	142	-47.7	-44.7	-44.7	-43.7	-43.7
392	143	-47.5	-44.5	-44.5	-43.5	-43.5
393	144	-47.3	-44.3	-44.3	-43.3	-43.3
394	145	-47	-44	-44	-43	-43
395	146	-46.8	-43.8	-43.8	-42.8	-42.8
396	147	-46.6	-43.6	-43.6	-42.6	-42.6
397	148	-46.4	-43.4	-43.4	-42.4	-42.4
398	149	-46.2	-43.2	-43.2	-42.2	-42.2
399	150	-46.1	-43.1	-43.1	-42.1	-42.1
400	151	-45.9	-42.9	-42.9	-41.9	-41.9

Fuente: Elaboración Propia (2015).

ANEXO 11:
TABLA DE EVALUACIÓN DE MARGEN DE DESVANECIMIENTO PACKET
MICROWAVE.

N1	N°	256QAM- MD (dB)	128QAM- MD (dB)	64QAM- MD(dB)	16QAM- MD(dB)	4QAM- MD(dB)
250	1	22.1	28.6	31.1	38.1	44.1
251	2	22.1	28.6	31.1	38.1	44.1
252	3	22.1	28.6	31.1	38.2	44.2
253	4	22.2	28.7	31.2	38.2	44.2
254	5	22.2	28.7	31.2	38.2	44.2
255	6	22.2	28.7	31.2	38.2	44.2
256	7	22.2	28.7	31.2	38.2	44.2
257	8	22.3	28.8	31.3	38.3	44.3
258	9	22.3	28.8	31.3	38.3	44.3
259	10	22.3	28.8	31.3	38.3	44.3
260	11	22.3	28.8	31.3	38.3	44.3
261	12	22.3	28.8	31.3	38.3	44.3
262	13	22.3	28.8	31.3	38.3	44.3
263	14	22.3	28.8	31.3	38.3	44.3
264	15	22.3	28.8	31.3	38.2	44.2
265	16	22.2	28.7	31.2	38.2	44.2
266	17	22.2	28.7	31.2	38.2	44.2
267	18	22.2	28.7	31.2	38.2	44.2
268	19	22.2	28.7	31.2	38.2	44.2
269	20	22.1	28.6	31.1	38.1	44.1
270	21	22.1	28.6	31.1	38.1	44.1
271	22	22.1	28.6	31.1	38.1	44.1
272	23	22	28.5	31	38.1	44.1
273	24	22	28.5	31	38	44
274	25	21.9	28.4	30.9	37.9	43.9
275	26	21.8	28.3	30.8	37.8	43.8
276	27	21.8	28.3	30.8	37.8	43.8
277	28	21.7	28.2	30.7	37.7	43.7
278	29	21.6	28.1	30.6	37.6	43.6
279	30	21.6	28.1	30.6	37.6	43.6
280	31	21.9	28	30.5	37.5	43.5
281	32	21.4	27.9	30.4	37.4	43.4
282	33	21.3	27.8	30.3	37.3	43.3
283	34	21.2	27.7	30.2	37.2	43.2
284	35	21.1	27.6	30.1	37.1	43.1
285	36	21	27.5	30	37	43

286	37	20.9	27.4	29.9	36.9	42.9
287	38	20.8	27.3	29.8	36.8	42.8
288	39	20.7	27.2	29.7	36.7	42.7
289	40	20.6	27.1	29.6	36.6	42.6
290	41	20.5	27	29.5	36.5	42.5
291	42	20.3	26.8	29.3	36.3	42.3
292	43	20.2	26.7	29.2	36.2	42.2
293	44	20.1	26.6	29.1	36.1	42.1
294	45	20	26.5	29	36	42
295	46	19.8	26.3	28.8	35.8	41.8
296	47	19.7	26.2	28.7	35.7	41.7
297	48	19.6	26.1	28.6	35.6	41.6
298	49	19.4	25.9	28.4	35.4	41.4
299	50	19.3	25.8	28.3	35.3	41.3
300	51	19.2	25.7	28.2	35.2	41.2
301	52	19.1	25.6	28.1	35.1	41.1
302	53	19	25.5	28	35	41
303	54	18.9	25.4	27.9	34.9	40.9
304	55	18.8	25.3	27.8	34.8	40.8
305	56	18.7	25.2	27.7	34.7	40.7
306	57	18.6	25.1	27.6	34.6	40.6
307	58	18.6	25.1	27.6	34.6	40.6
308	59	18.5	25	27.5	34.5	40.5
309	60	18.5	25	27.5	34.5	40.5
310	61	18.5	25	27.5	34.5	40.5
311	62	18.5	25	27.5	34.5	40.5
312	63	18.5	25	27.5	34.5	40.5
313	64	18.5	25	27.5	34.5	40.5
314	65	18.6	25.1	27.6	34.6	40.6
315	66	18.7	25.2	27.7	34.7	40.7
316	67	18.7	25.2	27.7	34.7	40.7
317	68	18.8	25.3	27.8	34.8	40.8
318	69	18.9	25.4	27.9	34.9	40.9
319	70	19	25.5	28	35	41
320	71	19.2	25.7	28.2	35.2	41.2
321	72	19.3	25.8	28.3	35.3	41.3
322	73	19.4	25.9	28.4	35.4	41.4
323	74	19.6	26.1	28.6	35.6	41.6
324	75	19.7	26.2	28.7	35.7	41.7

325	76	19.9	26.4	28.9	35.9	41.9
326	77	20	26.5	29	36	42
327	78	20.2	26.7	29.2	36.2	42.2
328	79	20.3	26.8	29.3	36.3	42.3
329	80	20.5	27	29.5	36.5	42.5
330	81	20.6	27.1	29.6	36.6	42.6
331	82	20.8	27.3	29.8	36.8	42.8
332	83	20.9	27.4	29.9	36.9	42.9
333	84	21.1	27.6	30.1	37.1	43.1
334	85	21.2	27.7	30.2	37.2	43.2
335	86	21.3	27.8	30.3	37.3	43.3
336	87	21.4	27.9	30.4	37.4	43.4
337	88	21.5	28	30.5	37.5	43.5
338	89	21.7	28.2	30.7	37.7	43.7
339	90	21.8	28.3	30.8	37.8	43.8
340	91	21.8	28.3	30.8	37.8	43.8
341	92	21.9	28.4	30.9	37.9	43.9
342	93	22	28.5	31	38	44
343	94	22.1	28.5	31	38.1	44.1
344	95	22.1	28.6	31.1	38.1	44.1
345	96	22.2	28.7	31.2	38.2	44.2
346	97	22.2	28.7	31.2	38.2	44.2
347	98	22.2	28.7	31.2	38.2	44.2
348	99	22.3	28.8	31.3	38.3	44.3
349	100	22.3	28.8	31.3	38.3	44.3
350	101	22.3	28.8	31.3	38.3	44.3
351	102	22.3	28.8	31.3	38.3	44.3
352	103	22.2	28.7	31.2	38.2	44.2
353	104	22.2	28.7	31.2	38.2	44.2
354	105	22.2	28.7	31.2	38.2	44.2
355	106	22.1	28.6	31.1	38.1	44.1
356	107	22.1	28.6	31.1	38.1	44.1
357	108	22	28.5	31	38	44
358	109	21.9	28.4	30.9	37.9	43.9
359	110	21.8	28.3	30.8	37.8	43.8
360	111	21.7	28.2	30.7	37.7	43.7
361	112	21.6	28.1	30.6	37.6	43.6
362	113	21.4	27.9	30.4	37.4	43.4
363	114	21.3	27.8	30.3	37.3	43.3

364	115	21.2	27.7	30.2	37.2	43.2
365	116	21	27.5	30	37	43
366	117	20.8	27.3	29.8	36.8	42.8
367	118	20.6	27.1	29.6	36.6	42.6
368	119	20.5	27	29.5	36.5	42.5
369	120	20.3	26.8	29.3	36.3	42.3
370	121	20.1	26.6	29.1	36.1	42.1
371	122	19.9	26.4	28.9	35.9	41.9
372	123	19.7	26.2	28.7	35.7	41.7
373	124	19.5	26	28.5	35.5	41.5
374	125	19.3	25.8	28.3	35.3	41.3
375	126	19.1	25.6	28.1	35.1	41.1
376	127	19	25.5	28	35	41
377	128	18.8	25.3	27.8	34.8	40.8
378	129	18.7	25.2	27.7	34.7	40.7
379	130	18.6	25.1	27.6	34.6	40.6
380	131	18.5	25	27.5	34.5	40.5
381	132	18.5	25	27.5	34.5	40.5
382	133	18.5	25	27.5	34.5	40.5
383	134	18.5	25	27.5	34.5	40.5
384	135	18.6	25.1	27.6	34.6	40.6
385	136	18.7	25.2	27.7	34.7	40.7
386	137	18.8	25.3	27.8	34.8	40.8
387	138	19	25.5	28	35	41
388	139	19.2	25.7	28.2	36.2	42.2
389	140	19.4	25.9	28.4	35.4	41.4
390	141	19.6	26.1	28.6	35.6	41.6
391	142	19.8	26.3	28.8	35.8	41.8
392	143	20	26.5	29	36	42
393	144	20.2	26.7	29.2	36.2	42.2
394	145	20.5	27	29.5	36.5	42.5
395	146	20.7	27.2	29.7	36.7	42.7
396	147	20.9	27.4	29.9	36.9	42.9
397	148	21.1	27.6	30.1	37.1	43.1
398	149	21.3	27.8	30.3	37.3	43.3
399	150	21.4	27.9	30.4	37.4	43.4
400	151	21.6	28.1	30.6	37.6	43.6

Fuente: Elaboración Propia (2015).

ANEXO 12:
TABLA DE EVALUACIÓN DE DISPONIBILIDAD PACKET MICROWAVE.

N1	N°	256QAM-D(%)	128QAM-D(%)	64QAM-D(%)	16QAM-D(%)	4QAM-D(%)
250	1	99.9904	99.9979	99.9987	99.9998	99.9999
251	2	99.9904	99.9979	99.9987	99.9998	99.9999
252	3	99.9904	99.9979	99.9987	99.9998	99.9999
253	4	99.9906	99.9979	99.9988	99.9998	99.9999
254	5	99.9906	99.9979	99.9988	99.9998	99.9999
255	6	99.9906	99.9979	99.9988	99.9998	99.9999
256	7	99.9906	99.9979	99.9988	99.9998	99.9999
257	8	99.9909	99.9980	99.9988	99.9998	99.9999
258	9	99.9909	99.9980	99.9988	99.9998	99.9999
259	10	99.9909	99.9980	99.9988	99.9998	99.9999
260	11	99.9909	99.9980	99.9988	99.9998	99.9999
261	12	99.9909	99.9980	99.9988	99.9998	99.9999
262	13	99.9909	99.9980	99.9988	99.9998	99.9999
263	14	99.9909	99.9980	99.9988	99.9998	99.9999
264	15	99.9909	99.9980	99.9988	99.9998	99.9999
265	16	99.9906	99.9979	99.9987	99.9998	99.9999
266	17	99.9906	99.9979	99.9987	99.9998	99.9999
267	18	99.9906	99.9979	99.9987	99.9998	99.9999
268	19	99.9906	99.9979	99.9987	99.9998	99.9999
269	20	99.9904	99.9979	99.9987	99.9998	99.9999
270	21	99.9904	99.9979	99.9987	99.9998	99.9999
271	22	99.9904	99.9979	99.9987	99.9998	99.9999
272	23	99.9902	99.9978	99.9987	99.9998	99.9999
273	24	99.9902	99.9978	99.9987	99.9998	99.9999
274	25	99.9900	99.9978	99.9987	99.9997	99.9999
275	26	99.9897	99.9977	99.9987	99.9997	99.9999
276	27	99.9897	99.9977	99.9987	99.9997	99.9999
277	28	99.9895	99.9977	99.9986	99.9997	99.9999
278	29	99.9893	99.9976	99.9986	99.9997	99.9999
279	30	99.9893	99.9976	99.9986	99.9997	99.9999
280	31	99.9900	99.9975	99.9985	99.9997	99.9999
281	32	99.9888	99.9975	99.9985	99.9997	99.9999
282	33	99.9885	99.9974	99.9985	99.9997	99.9999
283	34	99.9882	99.9974	99.9984	99.9997	99.9999

284	35	99.9880	99.9973	99.9984	99.9997	99.9999
285	36	99.9877	99.9972	99.9984	99.9997	99.9999
286	37	99.9874	99.9972	99.9983	99.9997	99.9999
287	38	99.9871	99.9972	99.9983	99.9997	99.9999
288	39	99.9868	99.9970	99.9982	99.9997	99.9999
289	40	99.9865	99.9970	99.9982	99.9997	99.9999
290	41	99.9862	99.9969	99.9982	99.9997	99.9999
291	42	99.9855	99.9968	99.9982	99.9996	99.9999
292	43	99.9852	99.9967	99.9981	99.9996	99.9999
293	44	99.9848	99.9966	99.998	99.9996	99.9999
294	45	99.9845	99.9965	99.9979	99.9996	99.9999
295	46	99.9838	99.9964	99.9978	99.9996	99.9999
296	47	99.9834	99.9963	99.9978	99.9996	99.9999
297	48	99.9830	99.9962	99.9978	99.9996	99.9999
298	49	99.9822	99.9960	99.9976	99.9996	99.9999
299	50	99.9818	99.9959	99.9976	99.9995	99.9999
300	51	99.9813	99.9958	99.9975	99.9995	99.9999
301	52	99.9809	99.9957	99.9975	99.9995	99.9999
302	53	99.9805	99.9956	99.9974	99.9995	99.9999
303	54	99.9800	99.9955	99.9974	99.9995	99.9999
304	55	99.9795	99.9954	99.9974	99.9995	99.9999
305	56	99.9791	99.9953	99.9974	99.9995	99.9999
306	57	99.9786	99.9952	99.9973	99.9995	99.9999
307	58	99.9786	99.9952	99.9973	99.9995	99.9999
308	59	99.9781	99.9951	99.9972	99.9994	99.9999
309	60	99.9781	99.9951	99.9972	99.9994	99.9999
310	61	99.9781	99.9951	99.9972	99.9994	99.9999
311	62	99.9781	99.9951	99.9972	99.9994	99.9999
312	63	99.9781	99.9951	99.9972	99.9994	99.9999
313	64	99.9781	99.9951	99.9972	99.9994	99.9999
314	65	99.9786	99.9952	99.9973	99.9995	99.9999
315	66	99.9791	99.9953	99.9974	99.9995	99.9999
316	67	99.9791	99.9953	99.9974	99.9995	99.9999
317	68	99.9795	99.9954	99.9974	99.9995	99.9999
318	69	99.9800	99.9955	99.9975	99.9995	99.9999
319	70	99.9805	99.9956	99.9974	99.9995	99.9999
320	71	99.9813	99.9958	99.9975	99.9995	99.9999
321	72	99.9818	99.9959	99.9976	99.9995	99.9999
322	73	99.9822	99.9960	99.9978	99.9996	99.9999

323	74	99.9830	99.9962	99.9978	99.9996	99.9999
324	75	99.9834	99.9963	99.9975	99.9996	99.9999
325	76	99.9841	99.9964	99.9979	99.9996	99.9999
326	77	99.9845	99.9965	99.9979	99.9996	99.9999
327	78	99.9852	99.9967	99.998	99.9996	99.9999
328	79	99.9855	99.9968	99.9981	99.9996	99.9999
329	80	99.9862	99.9969	99.9982	99.9997	99.9999
330	81	99.9865	99.9970	99.9982	99.9997	99.9999
331	82	99.9871	99.9971	99.9983	99.9997	99.9999
332	83	99.9874	99.9972	99.9983	99.9997	99.9999
333	84	99.9880	99.9973	99.9984	99.9997	99.9999
334	85	99.9882	99.9974	99.9984	99.9997	99.9999
335	86	99.9885	99.9974	99.9985	99.9997	99.9999
336	87	99.9888	99.9975	99.9985	99.9997	99.9999
337	88	99.9890	99.9975	99.9985	99.9997	99.9999
338	89	99.9895	99.9977	99.9986	99.9997	99.9999
339	90	99.9897	99.9977	99.9986	99.9997	99.9999
340	91	99.9897	99.9977	99.9986	99.9997	99.9999
341	92	99.9900	99.9978	99.9987	99.9997	99.9999
342	93	99.9902	99.9978	99.9987	99.9998	99.9999
343	94	99.9904	99.9978	99.9987	99.9998	99.9999
344	95	99.9904	99.9979	99.9987	99.9998	99.9999
345	96	99.9906	99.9979	99.9988	99.9998	99.9999
346	97	99.9906	99.9979	99.9988	99.9998	99.9999
347	98	99.9906	99.9979	99.9988	99.9998	99.9999
348	99	99.9909	99.9980	99.9988	99.9998	99.9999
349	100	99.9909	99.9980	99.9988	99.9998	99.9999
350	101	99.9909	99.9980	99.9988	99.9998	99.9999
351	102	99.9909	99.9980	99.9988	99.9998	99.9999
352	103	99.9906	99.9979	99.9988	99.9998	99.9999
353	104	99.9906	99.9979	99.9988	99.9998	99.9999
354	105	99.9906	99.9979	99.9988	99.9998	99.9999
355	106	99.9904	99.9979	99.9987	99.9998	99.9999
356	107	99.9904	99.9979	99.9987	99.9998	99.9999
357	108	99.9902	99.9978	99.9987	99.9998	99.9999
358	109	99.9900	99.9978	99.9987	99.9997	99.9999
359	110	99.9897	99.9977	99.9987	99.9997	99.9999
360	111	99.9895	99.9977	99.9986	99.9997	99.9999
361	112	99.9893	99.9976	99.9986	99.9997	99.9999

362	113	99.9888	99.9975	99.9985	99.9997	99.9999
363	114	99.9885	99.9974	99.9985	99.9997	99.9999
364	115	99.9882	99.9974	99.9984	99.9997	99.9999
365	116	99.9877	99.9972	99.9984	99.9997	99.9999
366	117	99.9871	99.9971	99.9983	99.9997	99.9999
367	118	99.9865	99.9970	99.9982	99.9997	99.9999
368	119	99.9862	99.9969	99.9982	99.9997	99.9999
369	120	99.9855	99.9968	99.9981	99.9996	99.9999
370	121	99.9848	99.9966	99.998	99.9996	99.9999
371	122	99.9841	99.9964	99.9979	99.9996	99.9999
372	123	99.9834	99.9963	99.9978	99.9996	99.9999
373	124	99.9826	99.9961	99.9977	99.9996	99.9999
374	125	99.9818	99.9959	99.9976	99.9995	99.9999
375	126	99.9809	99.9957	99.9975	99.9995	99.9999
376	127	99.9805	99.9956	99.9974	99.9995	99.9999
377	128	99.9795	99.9954	99.9973	99.9995	99.9999
378	129	99.9791	99.9953	99.9974	99.9995	99.9999
379	130	99.9786	99.9952	99.9973	99.9995	99.9999
380	131	99.9781	99.9951	99.9972	99.9994	99.9999
381	132	99.9781	99.9951	99.9972	99.9994	99.9999
382	133	99.9781	99.9951	99.9972	99.9994	99.9999
383	134	99.9781	99.9951	99.9972	99.9994	99.9999
384	135	99.9786	99.9952	99.9973	99.9995	99.9999
385	136	99.9791	99.9953	99.9974	99.9995	99.9999
386	137	99.9795	99.9954	99.9973	99.9995	99.9999
387	138	99.9805	99.9956	99.9974	99.9995	99.9999
388	139	99.9813	99.9958	99.9977	99.9996	99.9999
389	140	99.9822	99.9960	99.9978	99.9996	99.9999
390	141	99.9830	99.9962	99.9979	99.9996	99.9999
391	142	99.9838	99.9964	99.9978	99.9996	99.9999
392	143	99.9845	99.9965	99.9979	99.9996	99.9999
393	144	99.9852	99.9967	99.998	99.9996	99.9999
394	145	99.9862	99.9969	99.9982	99.9997	99.9999
395	146	99.9868	99.9970	99.9982	99.9997	99.9999
396	147	99.9874	99.9972	99.9983	99.9997	99.9999
397	148	99.9880	99.9973	99.9984	99.9997	99.9999
398	149	99.9885	99.9974	99.9985	99.9997	99.9999
399	150	99.9888	99.9975	99.9985	99.9997	99.9999
400	151	99.9893	99.9976	99.9986	99.9997	99.9999

Fuente: Elaboración Propia (2015).

ANEXO 13:
TABLA DE EVALUACIÓN DE INDISPONIBILIDAD PACKET MICROWAVE.

N1	N°	256QAM- I(seg/año)	128QAM- I(seg/año)	64QAM- I(seg/año)	16QAM- I(seg/año)	4QAM- I(seg/año)
250	1	3017.55	675.55	381.73	75.8	19.04
251	2	3017.55	675.55	381.73	75.8	19.04
252	3	3017.55	675.55	381.73	74.07	18.61
253	4	2948.86	660.17	373.04	74.07	18.61
254	5	2948.86	660.17	373.04	74.07	18.61
255	6	2948.86	660.17	373.04	74.07	18.61
256	7	2948.86	660.17	373.04	74.07	18.61
257	8	2881.74	645.14	364.55	72.39	18.18
258	9	2881.74	645.14	364.55	72.39	18.18
259	10	2881.74	645.14	364.55	72.39	18.18
260	11	2881.74	645.14	364.55	72.39	18.18
261	12	2881.74	645.14	364.55	72.39	18.18
262	13	2881.74	645.14	364.55	72.39	18.18
263	14	2881.74	645.14	364.55	72.39	18.18
264	15	2881.74	645.14	364.55	74.07	18.61
265	16	2948.86	660.17	373.04	74.07	18.61
266	17	2948.86	660.17	373.04	74.07	18.61
267	18	2948.86	660.17	373.04	74.07	18.61
268	19	2948.86	660.17	373.04	74.07	18.61
269	20	3017.55	675.55	381.73	75.8	19.04
270	21	3017.55	675.55	381.73	75.8	19.04
271	22	3017.55	675.55	381.73	75.8	19.04
272	23	3087.84	691.28	390.62	75.8	19.04
273	24	3087.84	691.28	390.62	77.56	19.48
274	25	3159.76	707.38	399.72	79.37	19.94
275	26	3233.36	723.86	409.03	81.22	20.4
276	27	3233.36	723.86	409.03	81.22	20.4
277	28	3308.68	740.72	409.03	83.11	20.88
278	29	3385.75	757.97	428.31	85.05	20.36
279	30	3385.75	757.97	428.31	85.05	20.36
280	31	3159.76	775.63	438.28	87.03	21.86
281	32	3545.31	793.7	448.59	89.05	22.37
282	33	3627.89	812.18	458.94	91.13	22.89
283	34	3712.4	831.1	469.63	93.25	23.42
284	35	3798.87	850.46	480.75	95.42	23.97
285	36	3887.36	870.27	491.76	97.65	24.53

286	37	3977.91	890.54	503.22	99.92	25.1
287	38	4070.56	911.29	514.94	102.25	25.68
288	39	4165.38	932.51	526.93	104.63	26.28
289	40	4262.4	954.23	531.21	107.07	26.89
290	41	4361.69	976.46	551.77	109.56	27.52
291	42	4567.25	1022.48	577.77	114.72	28.82
292	43	4673.63	1046.3	591.23	117.4	29.49
293	44	4782.5	1070.67	605	120.13	30.18
294	45	4893.89	1095.61	619.09	122.93	30.88
295	46	5124.54	1147.24	648.27	128.72	32.33
296	47	5243.9	1173.96	663.37	131.72	33.09
297	48	5366.05	1201.31	700.82	134.79	33.86
298	49	5618.94	1257.92	710.81	141.14	35.45
299	50	5749.82	1287.23	727.37	144.43	36.28
300	51	5883.75	1317.21	744.31	147.79	37.12
301	52	6020.8	1347.89	761.65	151.24	37.99
302	53	6161.05	1379.29	779.39	154.76	38.87
303	54	6304.56	1411.41	797.55	158.36	39.78
304	55	6451.41	1444.29	816.12	162.05	40.71
305	56	6601.68	1477.93	831.1	165.83	41.65
306	57	6755.45	1512.36	850.4	169.69	42.62
307	58	6755.45	1512.36	850.4	169.69	42.62
308	59	6912.81	1547.59	870.27	173.64	43.62
309	60	6912.81	1547.59	870.27	173.64	43.62
310	61	6912.81	1547.59	870.27	173.64	43.62
311	62	6912.81	1547.59	870.27	173.64	43.62
312	63	6912.81	1547.59	870.27	173.64	43.62
313	64	6912.81	1547.59	870.27	173.64	43.62
314	65	6755.45	1512.36	850.46	169.69	42.62
315	66	6601.68	1477.93	831.1	165.83	41.65
316	67	6601.68	1477.93	831.1	165.83	41.65
317	68	6451.41	1444.29	812.18	162.05	40.71
318	69	6304.56	1411.41	793.7	158.36	39.78
319	70	6161.05	1379.29	779.39	154.76	38.87
320	71	5883.75	1317.21	744.31	147.79	37.12
321	72	5749.82	1287.23	744.31	144.43	36.28
322	73	5618.94	1257.92	744.31	141.14	35.45
323	74	5366.05	1201.31	744.31	134.79	33.86
324	75	5243.9	1173.96	744.31	131.72	33.09

325	76	5007.89	1121.13	744.31	125.79	31.6
326	77	4893.89	1095.61	744.31	122.93	30.88
327	78	4673.63	1046.3	744.31	117.4	29.49
328	79	4567.25	1022.48	574.98	114.72	28.82
329	80	4361.69	976.46	551.77	109.56	27.52
330	81	4262.4	954.23	534.21	107.07	26.89
331	82	4070.56	911.29	514.94	102.25	25.68
332	83	3977.91	890.54	503.22	99.92	25.1
333	84	3798.87	850.46	480.75	95.42	23.97
334	85	3712.4	831.1	464.63	93.25	23.42
335	86	3627.89	812.18	458.94	91.13	22.89
336	87	3545.31	793.7	448.49	89.05	22.37
337	88	3464.61	775.63	438.28	87.03	21.86
338	89	3308.68	740.72	418.56	83.11	20.88
339	90	3233.36	723.86	409.03	81.22	20.4
340	91	3233.36	723.86	409.03	81.22	20.4
341	92	3159.76	707.38	399.72	79.37	19.94
342	93	3087.84	691.28	390.62	77.56	19.48
343	94	3017.55	691.28	390.62	75.8	19.04
344	95	3017.55	675.55	381.73	75.8	19.04
345	96	2948.86	660.17	373.04	74.07	18.61
346	97	2948.86	660.17	373.04	74.07	18.61
347	98	2948.86	660.17	373.04	74.07	18.61
348	99	2881.74	645.14	364.55	72.39	18.18
349	100	2881.74	645.14	364.55	72.39	18.18
350	101	2881.74	645.14	364.55	72.39	18.18
351	102	2881.74	645.14	364.55	72.39	18.18
352	103	2948.86	660.17	373.04	74.07	18.61
353	104	2948.86	660.17	373.04	74.07	18.61
354	105	2948.86	660.17	373.04	74.07	18.61
355	106	3017.55	675.55	381.73	75.8	19.04
356	107	3017.55	675.55	381.73	75.8	19.04
357	108	3087.84	691.28	390.62	77.56	19.48
358	109	3159.76	707.38	399.72	79.37	19.94
359	110	3233.36	723.86	409.03	81.22	20.4
360	111	3308.68	740.72	418.56	83.11	20.88
361	112	3385.75	757.97	428.31	85.05	20.36
362	113	3545.31	793.7	448.49	89.05	22.37
363	114	3627.89	812.18	458.94	91.13	22.89

364	115	3712.4	831.1	464.63	93.25	23.42
365	116	3887.36	870.27	491.76	97.65	24.53
366	117	4070.56	911.29	514.94	102.25	25.68
367	118	4262.4	954.23	531.21	107.07	26.89
368	119	4361.69	976.46	570.45	109.56	27.52
369	120	4567.25	1022.48	574.98	114.72	28.82
370	121	4782.5	1070.67	572.3	120.13	30.18
371	122	5007.89	1121.13	744.31	125.79	31.6
372	123	5243.9	1173.96	744.31	131.72	33.09
373	124	5491.04	1229.29	744.31	137.93	34.65
374	125	5749.82	1287.23	744.31	144.43	36.28
375	126	6020.8	1347.89	761.65	151.24	37.99
376	127	6161.05	1379.29	779.39	154.76	38.87
377	128	6451.41	1444.29	816.12	162.05	40.71
378	129	6601.68	1477.93	831.1	165.83	41.65
379	130	6755.45	1512.36	850.46	169.69	42.62
380	131	6912.81	1547.59	870.27	173.64	43.62
381	132	6912.81	1547.59	870.27	173.64	43.62
382	133	6912.81	1547.59	870.27	173.64	43.62
383	134	6912.81	1547.59	870.27	173.64	43.62
384	135	6755.45	1512.36	850.46	169.69	42.62
385	136	6601.68	1477.93	831.1	165.83	41.65
386	137	6451.41	1444.29	812.18	162.05	40.71
387	138	6161.05	1379.29	779.39	154.76	38.87
388	139	5883.75	1317.21	744.31	117.4	29.49
389	140	5618.94	1257.92	744.31	141.14	35.45
390	141	5366.05	1201.31	744.31	134.79	33.86
391	142	5124.54	1147.24	744.31	128.72	32.33
392	143	4893.89	1095.61	619.09	122.93	30.88
393	144	4673.63	1046.3	591.23	117.4	29.49
394	145	4361.69	976.46	551.77	109.56	27.52
395	146	4165.38	932.51	526.93	104.63	26.28
396	147	3977.91	890.54	503.22	107.07	25.1
397	148	3798.87	850.46	480.75	95.42	23.97
398	149	3627.89	812.18	458.94	91.13	22.89
399	150	3545.31	793.7	448.59	89.05	22.37
400	151	3385.75	757.97	428.31	85.05	20.36

Fuente: Elaboración Propia (2015).

ANEXO 14:
TABLA DE EVALUACIÓN DE CAPACIDAD PACKET MICROWAVE.

N1	N°	256-QAMC(Mbps)	128QAM-C(Mbps)	64QAM-C(Mbps)	16QAM-C(Mbps)	4QAM-C(Mbps)
250	1	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
251	2	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
252	3	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
253	4	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
254	5	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
255	6	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
256	7	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
257	8	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
258	9	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
259	10	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
260	11	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
261	12	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
262	13	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
263	14	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
264	15	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
265	16	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
266	17	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
267	18	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
268	19	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
269	20	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
270	21	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
271	22	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
272	23	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
273	24	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
274	25	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
275	26	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
276	27	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
277	28	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
278	29	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
279	30	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
280	31	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
281	32	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
282	33	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
283	34	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
284	35	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
285	36	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
286	37	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
287	38	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
288	39	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9

289	40	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
290	41	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
291	42	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
292	43	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
293	44	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
294	45	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
295	46	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
296	47	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
297	48	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
298	49	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
299	50	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
300	51	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
301	52	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
302	53	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
303	54	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
304	55	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
305	56	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
306	57	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
307	58	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
308	59	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
309	60	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
310	61	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
311	62	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
312	63	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
313	64	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
314	65	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
315	66	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
316	67	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
317	68	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
318	69	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
319	70	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
320	71	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
321	72	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
322	73	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
323	74	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
324	75	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
325	76	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
326	77	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
327	78	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
328	79	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
329	80	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9

330	81	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
331	82	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
332	83	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
333	84	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
334	85	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
335	86	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
336	87	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
337	88	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
338	89	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
339	90	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
340	91	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
341	92	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
342	93	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
343	94	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
344	95	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
345	96	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
346	97	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
347	98	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
348	99	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
349	100	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
350	101	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
351	102	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
352	103	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
353	104	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
354	105	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
355	106	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
356	107	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
357	108	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
358	109	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
359	110	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
360	111	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
361	112	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
362	113	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
363	114	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
364	115	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
365	116	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
366	117	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
367	118	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
368	119	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
369	120	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
370	121	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9

371	122	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
372	123	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
373	124	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
374	125	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
375	126	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
376	127	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
377	128	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
378	129	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
379	130	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
380	131	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
381	132	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
382	133	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
383	134	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
384	135	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
385	136	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
386	137	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
387	138	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
388	139	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
389	140	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
390	141	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
391	142	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
392	143	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
393	144	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
394	145	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
395	146	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
396	147	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
397	148	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
398	149	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
399	150	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9
400	151	183.3	160.2	136.9	99.9	44.9

Fuente: Elaboración Propia (2015).